

Aus dem Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung
der Justus Liebig-Universität Gießen
Direktor: Professor Dr. E. Schönhals

Barroböden und Tepetate
Untersuchungen
zur Bodenbildung in vulkanischen Aschen
unter wechselfeuchtem gemäßigtem Klima
im zentralen Hochland von Mexiko

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
beim Fachbereich Umweltsicherung
der Justus Liebig-Universität Gießen

eingereicht von
Diplomlandwirt Hans Aeppli
aus Zürich, Schweiz

Gießen 1973

Aus dem Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung
der Justus Liebig-Universität Gießen
Direktor: Professor Dr. E. Schönhals

Barroböden und Tepetate

Untersuchungen

**zur Bodenbildung in vulkanischen Aschen
unter wechselfeuchtem gemäßigtem Klima
im zentralen Hochland von Mexiko**

INAUGURAL-DISSERTATION

**zur Erlangung des Doktorgrades
beim Fachbereich Umweltsicherung
der Justus Liebig-Universität Gießen**

eingereicht von
Diplomlandwirt Hans Aepli
aus Zürich, Schweiz

Gießen 1973



Dekan: Prof. Dr. J. Breburda
1. Berichterstatter: Prof. Dr. E. Schönhals
2. Berichterstatter: Prof. Dr. L. Jung

Tag der mündlichen Prüfung: 18. Mai 1973

Inhalt

	Seite
1. Einleitung und Problemstellung	11
2. Literaturübersicht	13
3. Das Arbeitsgebiet	16
4. Ergebnisse der Feldarbeiten	21
4.1. Beschreibung des Barrobodens	21
4.2. Gefüge und Erosionsverhalten: Beziehungen zwischen Barroboden und Tepetate	21
4.3. Tepetate und Krusten	24
4.4. Entwicklungsstadien des Barrobodens	24
4.4.1. Der Schwach entwickelte Barroboden	25
4.4.2. Der Gebänderte Barroboden	25
4.5. Vertisolähnliche Böden und Tepetate	26
4.6. Stratigraphie	27
4.7. Die Deckschicht	33
4.8. Auswirkungen der Deckschicht	36
5. Beschreibung der untersuchten Profile	38
5.1. Profil Puebla	38
5.2. Profil Hueyotlipan	40
5.3. Profil Xaltocan	42
5.4. Profil Metepec	43
5.5. Profil San Jerónimo	45
5.5.1. Schicht 1 (Entnahme bei A)	45
5.5.2. Schicht 2 (Entnahme bei B)	47
5.5.3. Schicht 3 (Entnahme bei B)	47
5.5.4. Schicht 4 (Entnahme bei B)	48
5.5.5. Schicht P (Entnahme bei B)	48
5.5.6. Schicht 5 (Entnahme bei B und C)	49
5.5.7. Schicht 6 (Entnahme bei C und D)	50
5.5.8. Schicht 5 (Entnahme bei E)	51
5.5.9. Schicht 6a (Entnahme bei E und F)	52
5.5.10. Schicht 6b (Entnahme bei G)	52

	Seite
6. Laboruntersuchungen	54
6.1. Angewandte Methoden	54
6.1.1. pH-Messung	54
6.1.2. C-Gehalte	54
6.1.3. Korngrössenanalyse	54
6.1.4. Gesamtaufschluss	55
6.1.5. Extraktionsverfahren	55
6.1.5.1. Dithionitlösliches Fe, Mn und Al	55
6.1.5.2. Oxalatlösliches Fe und Mn	55
6.1.5.3. Laugelösliches Al und Si	55
6.1.5.4. Wasserlösliches Si	56
6.1.6. Zerfallsverhalten des Tepetate	56
6.1.7. Allophanbestimmung	56
6.1.8. Tonmineralbestimmung	56
6.1.9. Mikromorphologische Untersuchungen	57
6.2. Ergebnisse der Laboruntersuchungen	58
6.2.1. Analysenfehler	60
6.2.2. Profil Puebla	61
6.2.3. Profil Hueyotlipan	64
6.2.4. Profil Xaltocan	66
6.2.5. Profil Metepec	68
6.2.6. Profil San Jerónimo	71
6.2.6.1. Schicht 1	71
6.2.6.2. Schichten 2 und 3	74
6.2.6.3. Schichten 4, P, 5 und 6	77
6.2.6.4. Schichten 5, 6a und 6b	83
6.2.7. Röntgenbeugungsaufnahmen	88
6.2.8. Fotografien zur Mikromorphologie	93
7. Diskussion	97
7.1. Diskussion I	97
7.1.1. Statistische Sicherung der Ergebnisse	97
7.1.2. "Homogenität" des Ausgangsmaterials	98
7.1.3. Korngrössenverteilung	99
7.1.4. Gesamtgehalte an Fe, Al, Ti, Mn und Si	101

	Seite
7.1.5. Fe-Fraktionierung	104
7.1.6. Al-Fraktionierung	106
7.1.7. Mn-Fraktionierung	107
7.1.8. Si-Fraktionierung	108
7.1.8.1. Laugelösliches Si und Zerfalls- verhalten des Tepetate	108
7.1.8.2. Wasserlösliches Si	110
7.1.9. Carbonatgehalte und pH	112
7.1.10. Tonmineralogische Untersuchungen	112
7.1.11. Allophantest	114
7.1.12. Mikromorphologische Untersuchungen	115
7.1.13. Die Deckschicht	118
7.2. Diskussion II	120
7.2.1. Profil Puebla	120
7.2.2. Profil Hueyotlipan	122
7.2.3. Profil Xaltocan	124
7.2.4. Profil Metepec	125
7.2.5. Profil San Jerónimo	127
7.2.5.1. Schicht 1	127
7.2.5.2. Schicht 2	128
7.2.5.3. Schicht 3	128
7.2.5.4. Schichten 4, P und 5	129
7.2.5.5. Schicht 6	132
7.2.5.6. Schichten 6a und 6b	133
7.3. Diskussion III	134
7.3.1. Die Böden	134
7.3.2. Der Tepetate	137
7.3.3. Die Deckschicht	138
7.3.4. Vorschlag zur Nomenklatur	138
Zusammenfassung	141
Literaturverzeichnis	144
Tabellenanhang	149

Verzeichnis der Abbildungen

	Seite
Abb. 1 Karte des Arbeitsgebietes	15
Abb. 2 Karte der Bodengesellschaften im Becken von Puebla-Tlaxcala	19
Abb. 3 Barroboden, Deckschicht	23
Abb. 4 erodierter Barroboden mit Tepetate, Deckschicht	23
Abb. 5 Erosion eines Barrobodens	23
Abb. 6 Verschiedene Erosionsstadien eines Schichtpaketes	29
Abb. 7 Lage der Profile zur Stratigraphie	30
Abb. 8 Profile zur Stratigraphie	31
Abb. 9 Profil San Jerónimo: Probenentnahme	30
Abb. 10 Profil Puebla: Korngrößenverteilung, Fe- und Mn-Fraktionierung, Ti-Gehalte	62
Abb. 11 Profil Puebla: Al- und Si-Fraktionierung, C-Gehalte, $\text{Fe}_\text{O}/\text{Fe}_\text{d}$, $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$	63
Abb. 12 Profil Hueyotlipan: Korngrößenverteilung, Fe-, Mn-, Al- und Si-Fraktionierung, Ti- und C-Gehalte, $\text{Fe}_\text{O}/\text{Fe}_\text{d}$, $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$	65
Abb. 13 Profil Xaltocan: Korngrößenverteilung, Fe-, Mn-, Al- und Si-Fraktionierung, Ti- und C-Gehalte, $\text{Fe}_\text{O}/\text{Fe}_\text{d}$, $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$	67
Abb. 14 Profil Metepec: Korngrößenverteilung, Fe- und Mn-Fraktionierung, Ti-Gehalte	69
Abb. 15 Profil Metepec: Al- und Si-Fraktionierung, Ti-Gehalte, $\text{Fe}_\text{O}/\text{Fe}_\text{d}$, $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$	70
Abb. 16 Profil San Jerónimo, Schichten 1 und 0: Korngrößenverteilung, Fe- und Mn-Fraktionierung, Ti-Gehalte	72
Abb. 17 Profil San Jerónimo, Schichten 1 und 0: Al- und Si-Fraktionierung, $\text{Fe}_\text{O}/\text{Fe}_\text{d}$, $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$	73
Abb. 18 Profil San Jerónimo, Schichten 2 und 3: Korngrößenverteilung, Fe- und Mn-Fraktionierung, Ti-Gehalte	75
Abb. 19 Profil San Jerónimo, Schichten 2 und 3: Al- und Si-Fraktionierung, $\text{Fe}_\text{O}/\text{Fe}_\text{d}$, $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$	76
Abb. 20 Profil San Jerónimo, Schichten 4, P, 5 und 6: Korngrößenverteilung, Fe-Fraktionierung	78
Abb. 21 Profil San Jerónimo, Schichten 4, P, 5 und 6: Al- und Si-Fraktionierung	79
Abb. 22 Profil San Jerónimo, Schichten 4, P, 5 und 6: Mn-Fraktionierung, Ti-Gehalte	80

		Seite
Abb. 23	Profil San Jerónimo, Schichten 4, P, 5 und 6: C-Gehalte, $\text{Fe}_\text{O}/\text{Fe}_\text{d}$, $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$	81
Abb. 24	Profil San Jerónimo, Schichten 5, 6a und 6b: Korngrößenverteilung, Fe-Fraktionierung	84
Abb. 25	Profil San Jerónimo, Schichten 5, 6a und 6b: Al- und Si-Fraktionierung	85
Abb. 26	Profil San Jerónimo, Schichten 5, 6a und 6b: Mn-Fraktionierung, Ti-Gehalte	86
Abb. 27	Profil San Jerónimo, Schichten 5, 6a und 6b: C-Gehalte, $\text{Fe}_\text{O}/\text{Fe}_\text{d}$, $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$	87
Abb. 28	Profil Hueyotlipan: Röntgenbeugungsaufnahmen	89
Abb. 29	Profil Puebla: Röntgenbeugungsaufnahmen	90
Abb. 30	Profil San Jerónimo, Schicht 5: Röntgenbeugungsaufnahmen	90
Abb. 31	Profil San Jerónimo, Schicht 6: Röntgenbeugungsaufnahmen	91
Abb. 32	Profil San Jerónimo, Schicht 5, $\text{B}_{\text{tv}2}$: Dünnschliff	93
Abb. 33	Profil San Jerónimo, Schicht 5, $\text{B}_{\text{tv}1}$: Dünnschliff	93
Abb. 34	Profil San Jerónimo, Schicht 5, $\text{A}_\text{h}\text{B}_{\text{tv}}$: Dünnschliff	93
Abb. 35	Profil San Jerónimo, Schicht 5, $\text{B}_{\text{tv}2}$: Dünnschliff	93
Abb. 36	Profil Hueyotlipan, II S_{wd} : Dünnschliff	94
Abb. 37	Profil Hueyotlipan, II $\text{B}_{\text{vt}}\text{S}_{\text{w}}$: Dünnschliff	94
Abb. 38	Profil Hueyotlipan, II A_h : Dünnschliff	95
Abb. 39	Profil Hueyotlipan, Oberfläche Tepetate: Dünnschliff	95
Abb. 40	Profil Metepec, Oberfläche Tepetate: Dünnschliff	95
Abb. 41	Profil Hueyotlipan, Deckschicht: Dünnschliff	96
Abb. 42	Profil San Jerónimo, Schicht 6, II B_{tv} : Dünnschliff	96
Abb. 43	Profil San Jerónimo, Schicht 5, $\text{B}_{\text{tv}2}$ (Tepetate): Dünnschliff	96
Abb. 44	Profil Metepec, IV fB_{tv} (Tepetate): Dünnschliff	96

Verzeichnis der Tabellen

	Seite
Tab. 1 Mittlere Tagestemperaturmaxima und -Minima in Huejotzingo (nach JAUREGUI 1968)	17
Tab. 2 Analysenfehler, ausgedrückt in Form des Variabilitätskoeffizienten V	60
Tab. 3 Profil Puebla: Das Verhältnis F der Summe der Quadrate zwischen den Horizonten zur Summe der Quadrate innerhalb der Horizonte und die Streuung innerhalb der Horizonte	61
Tab. 4 Profil Puebla: Reaktion auf den Allophantest	61
Tab. 5 Profil Hueyotlipan: Das Verhältnis F der Summe der Quadrate zwischen den Horizonten zur Summe innerhalb der Horizonte und die Streuung innerhalb der Horizonte	64
Tab. 6 Profil Hueyotlipan: Zerfallsverhalten des Tepetate	64
Tab. 7 Profil Hueyotlipan: Reaktion auf den Allophantest	64
Tab. 8 Profil Xaltocan: Zerfallsverhalten des Tepetate	66
Tab. 9 Profil Metepec: Zerfallsverhalten des Tepetate	68
Tab. 10 Profil Metepec: Reaktion auf den Allophantest	68
Tab. 11 Schicht 1: Zerfallsverhalten des Tepetate	71
Tab. 12 Schicht 1: Reaktion auf den Allophantest	71
Tab. 13 Schicht 2: Zerfallsverhalten des Tepetate	74
Tab. 14 Schichten 2 und 3: Reaktion auf den Allophantest	74
Tab. 15 Schicht 5: Das Verhältnis F der Summe der Quadrate zwischen den Horizonten zur Summe der Quadrate innerhalb der Horizonte und die Streuung innerhalb der Horizonte	77
Tab. 16 Schicht 6: Das Verhältnis F der Summe der Quadrate zwischen den Horizonten zur Summe der Quadrate innerhalb der Horizonte und die Streuung innerhalb der Horizonte	77
Tab. 17 Schichten 4, 5 und 6: Zerfallsverhalten des Tepetate	82
Tab. 18 Schichten 4, P, 5 und 6: Reaktion auf den Allophantest	82
Tab. 19 Schicht 6a: Zerfallsverhalten des Tepetate	83

	Seite
Tab. 20	Vergleich des aufgrund der unterschiedlichen SiO_2 -Gehalte errechneten Anstiegs mit den gemessenen Veränderungen der Gesamtgehalte an Fe, Al, Ti und Mn im obersten gegenüber dem untersten Horizont 102
Tab. 21	Die Gehalte an silikatisch gebundenem Fe und an Gesamt-Kieselsäure in den oberen Horizonten, ausgedrückt in % der entsprechenden Gehalte der unteren Horizonte 105
Tab. 22	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ -Verhältnisse des laugelöslichen Si und Al (in Klammern für das Gesamt-Si und Al) der obersten und der (tieferen) Horizonte, die im Profil die höchsten SiOH -Gehalte aufweisen 108
Tab. 23	Profil Puebla: Korngrößenverteilung 149
Tab. 24	Profil Puebla: Gesamtgehalte 150
Tab. 25	Profil Puebla: Anteile an Konkretionen, Gesamt-Fe- und -Mn-Gehalte 150
Tab. 26	Profil Puebla: Fraktionierung 151
Tab. 27	Profil Puebla: pH-Werte, C-Gehalte 151
Tab. 28	Profil Hueyotlipan: Korngrößenverteilung 152
Tab. 29	Profil Hueyotlipan: Gesamtgehalte 152
Tab. 30	Profil Hueyotlipan: Anteile an Konkretionen, Gesamt-Fe- und -Mn-Gehalte 153
Tab. 31	Profil Hueyotlipan: Fraktionierung 153
Tab. 32	Profil Hueyotlipan: pH-Werte, C-Gehalte 154
Tab. 33	Profil Xaltocan: Korngrößenverteilung 154
Tab. 34	Profil Xaltocan: Gesamtgehalte 155
Tab. 35	Profil Xaltocan: Anteile an Konkretionen, Gesamt-Fe- und -Mn-Gehalte 155
Tab. 36	Profil Xaltocan: Fraktionierung 156
Tab. 37	Profil Xaltocan: pH-Werte, C-Gehalte 156
Tab. 38	Profil Metepec: Korngrößenverteilung, 1. und 2. Probenserie 157
Tab. 39	Profil Metepec: Fe- und Mn-Fraktionierung, Ti-Gehalte, 1. Probenserie 157
Tab. 40	Profil Metepec: Gesamtgehalte, 2. Probenserie 158
Tab. 41	Profil Metepec: Fraktionierung, 2. Probenserie 158
Tab. 42	Profil Metepec: pH-Werte, C-Gehalte, 2. Probenserie 159
Tab. 43	Schichten 1 und 0: Korngrößenverteilung, 1. und 2. Probenserie 159

	Seite
Tab. 44 Schichten 1 und 0: Fe- und Mn-Fraktionierung, Ti-Gehalte, 1. Probenserie	160
Tab. 45 Schichten 1 und 0: Gesamtgehalte, 2. Probenserie	160
Tab. 46 Schichten 1 und 0: Anteile an Konkretionen, Gesamt-Fe- und -Mn-Gehalte	160
Tab. 47 Schichten 1 und 0: Fraktionierung, 2. Probenserie	161
Tab. 48 Schichten 1 und 0: pH-Werte, C-Gehalte, 2. Probenserie	161
Tab. 49 Schichten 2 und 3: Korngrößenverteilung, 1. und 2. Probenserie	162
Tab. 50 Schichten 2 und 3: Fe- und Mn-Fraktionierung, Ti-Gehalte, 1. Probenserie	163
Tab. 51 Schichten 2 und 3: Gesamtgehalte, 2. Probenserie	163
Tab. 52 Schichten 2 und 3: Anteile an Konkretionen, Gesamt-Fe- und -Mn-Gehalte	163
Tab. 53 Schichten 2 und 3: Fraktionierung, 2. Probenserie	164
Tab. 54 Schichten 2 und 3: pH-Werte, C-Gehalte, 2. Probenserie	164
Tab. 55 Schichten 4, P, 5 und 6: Korngrößenverteilung	165
Tab. 56 Schichten 4, P, 5 und 6: Gesamtgehalte	166
Tab. 57 Schichten 4, P, 5 und 6: Fraktionierung	167
Tab. 58 Schichten 4, P, 5 und 6: pH-Werte, C-Gehalte	168
Tab. 59 Schicht 6b: Fe- und Mn-Fraktionierung, Ti-Gehalte, 1. Probenserie	168
Tab. 60 Schichten 5, 6a und 6b: Korngrößenverteilung, 1. und 2. Probenserie	169
Tab. 61 Schichten 5, 6a und 6b: Gesamtgehalte, 2. Probenserie	170
Tab. 62 Schichten 5, 6a und 6b: Fraktionierung, 2. Probenserie	171
Tab. 63 Schichten 5, 6a und 6b: pH-Werte, C-Gehalte, 2. Probenserie	172

1. Einleitung und Problemstellung

Die vorliegende Untersuchung wurde im Rahmen einer Bodenkartierung (AEPPLI 1972, AEPPLI u. SCHÖNHALS 1973) im zentralen Hochland von Mexiko durchgeführt. Dabei erregte schon bei den ersten Geländebegehungen der Tepetate besonderes bodenkundliches Interesse. Als Tepetate werden bestimmte vulkanische Tuffe bezeichnet, die durch Erosion an die Oberfläche gelangten und in trockenem Zustand ausserordentlich hart sind. Das Wort selbst entstammt dem Aztekischen und setzt sich aus den Begriffen "tetl" (=Stein) und "petlatl" (=Matte) zusammen (SANTAMARÍA 1959). Ausprägung und Farbe sind unterschiedlich, sehr häufig ist jedoch die Oberfläche von einem polygonalen Netz feiner Erosionsrillen überzogen. Dieses fast gewebeähnliche Netz und die Härte, die Vergleiche mit Festgesteinen nahelegt, führten denn auch zum Begriff Tepetate.

Weit verbreitet ist der Tepetate in erosionsgefährdeten Gebieten des zentralen mexikanischen Hochlandes. Die Härte des Materials verhindert eine Bodenbearbeitung mit den landesüblichen Mitteln, womit eine ackerbauliche Nutzung ausscheidet. Auch Weidewirtschaft ist nicht mehr möglich, da die erodierten Flächen meist keinen Bewuchs aufweisen. Das Niederschlagswasser dringt nur zu einem geringen Teil in den Tepetate ein; dies führt vor allem bei Starkregen zu einem sehr hohen Oberflächenabfluss. Dadurch werden weitere, bisher unzerstörte Flächen bis auf den Tepetate abgetragen und es kommt durch Grabenerosion zur Ausbildung von tiefen Schluchten. Die Zerstörung kann so weit gehen, dass grössere Gebiete unpassierbar werden (vgl. auch HEINE 1971).

Der Tepetate kann in seiner typischen Ausprägung nur auf vollständig erodierten Flächen beobachtet werden. Hat keine Erosion stattgefunden, wird er von Material bedeckt, in dem meist ein recht tonreicher gelbrotbrauner Boden mit charakteristischen Gefügemerkmalen ausgebildet ist. Dieser Boden liess sich allein aufgrund seiner im Gelände erkennbaren Eigenschaften nicht eindeutig klassifizieren. Um ihn trotzdem allgemein zu kennzeichnen, wurde ihm im Laufe der Feldarbeiten der Name "Barroboden" gegeben, der im folgenden beibehalten werden soll.

Als "Barro" (=Lehm) wird von der Bevölkerung das Material der oberen tonreichen Horizonte dieser Böden bezeichnet, das sich zur Herstellung von Ziegeln eignet (vgl. auch SEELE 1968).

Die vorliegende Arbeit befasst sich vor allem mit den in den Barroböden abgelaufenen bodenbildenden Prozessen, der Entstehung des Tepetate und dessen Beziehungen zum Barroboden. Als Grundlage dienten die im Rahmen der Feldarbeiten gemachten Beobachtungen und die durchgeführten chemischen, tonmineralogischen und mikromorphologischen Untersuchungen. Zwei Aufenthalte in Mexiko während der Winterhalbjahre 1970/71 und 1971/72 von je 6 Monaten standen für die Feldarbeiten zur Verfügung, wobei die erwähnte bodenkundliche Kartierung des Untersuchungsgebietes als Hauptaufgabe angesehen wurde. Die Durchführung der Analysen erfolgte im Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung, Giessen.

2. Literaturübersicht

Die Literatur zum Thema Tepetate und Barroboden ist nicht sehr umfangreich. Es liegen einige Arbeiten vor, die im Rahmen von bodenkundlich-geologischen Bestandesaufnahmen im Becken von Mexiko-Stadt den Tepetate und teilweise auch barro-bodenähnliche Bildungen beschreiben (SHAW 1929, SALAZAR 1938, LLERENA 1947, URIBE 1959, FLORES 1970a). Andere Autoren beschäftigen sich mit Problemen der Wiederaufforstung (AVILA 1963) und der landwirtschaftlichen Rekultivierung (GARCÍA 1961) von Tepetateflächen, mit Düngungsversuchen (ORTIZ 1963) und mit der Erosionsbekämpfung (BLANCO u. RAMIREZ 1966).

Mit genetischen Problemen beschäftigt sich hingegen VALDEZ (1970) in einer Untersuchung mehrerer Profile an der Westflanke des Tlaloc, dem nördlichsten grossen Vulkan der Sierra Nevada. Er konnte dabei den Tepetate aufgrund unterschiedlicher Struktur und Härte in drei Schichten unterteilen, die nacheinander sedimentiert wurden. Nach VALDEZ handelt es sich beim Tepetate um eine Mischung pyroklastischer Sedimente, die in Form eines "Fanglomerates" beim Rückzug der Gletscher transportiert und an der heutigen Stelle abgelagert wurden. Die Festigkeit kann durch verschiedene Bindemittel verursacht sein. An erster Stelle nennt er die aus den vulkanischen Aschen stammende lösliche Kieselsäure, aber auch Fe-Oxide und -Hydroxide, Ton und Carbonate sind an der Verkittung beteiligt. Eine dem Barroboden ähnliche Bildung wird als Vertisol bezeichnet, auf Zusammenhänge zwischen Tepetate und Vertisol aber nicht eingegangen. Nach dieser Untersuchung ist der Tepetate als Duripan anzusprechen; nach der amerikanischen Bodenklassifikation (USDA 1960) wurde er mit einigen Einschränkungen als Durustoll eingestuft.

Eine kurze Beschreibung der Barroböden gibt FLORES (1970b) in einem vorläufigen Bericht über seine Kartierarbeiten im Gebiet von Puebla-Cholula. Er betrachtet sie als fossile Böden, ein Problem, auf das auch in dieser Arbeit noch eingegangen wird (s. Abschnitt 4.8.).

In Nicaragua ist mit dem Talpetate eine dem Tepetate offen-

bar ähnliche Erscheinung bekannt. In einem vorläufigen Beitrag wird er von MARIN et al. (1971) beschrieben. Es handelt sich beim Talpetate um Tuffe aus vulkanischen Gläsern, die je nach Stellung im Profil unterschiedliche Stadien einer Bodenbildung erreicht haben.

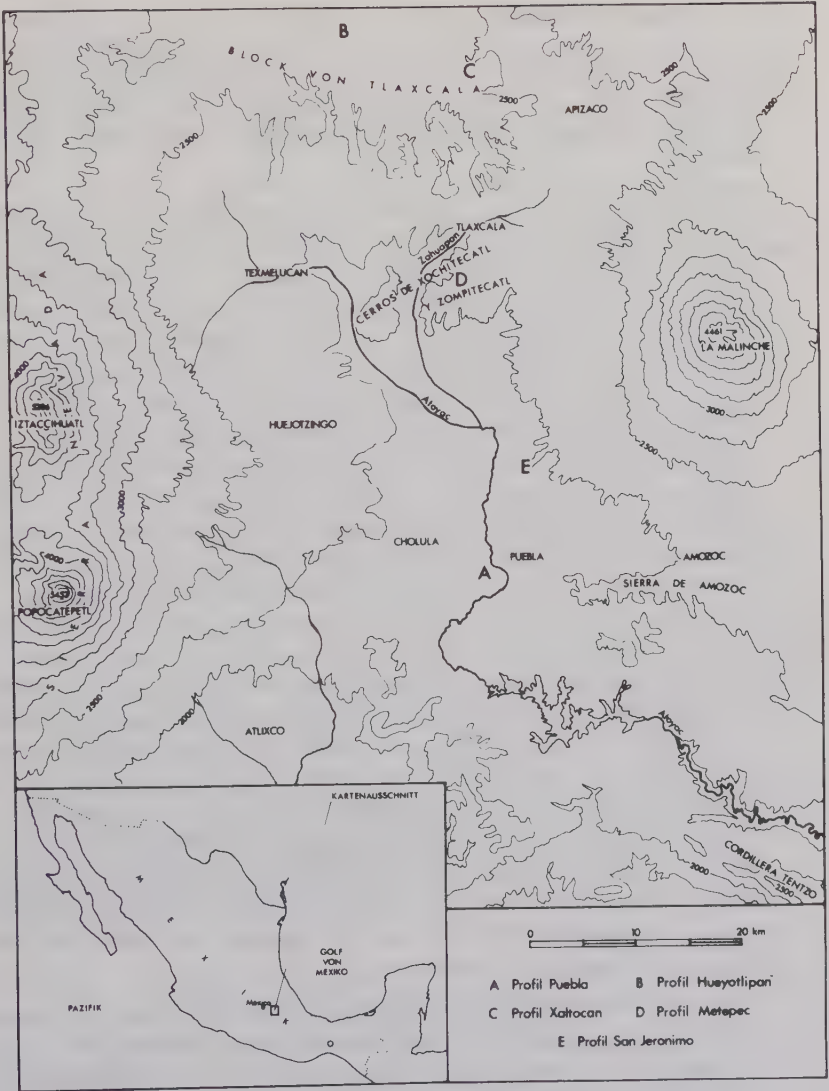


Abb. 1: Karte des Arbeitsgebietes

3. Das Arbeitsgebiet

Die Kartierarbeiten wurden im Raum von Puebla, Tlaxcala und Texmelucan durchgeführt, ebenso stammen die untersuchten Profile aus dieser bzw. aus der nördlich angrenzenden Gegend (Abb.1).

Beim Arbeitsgebiet handelt es sich um eines der Hochbecken, die entlang der Sierra Volcanica Transversal zwischen dem 19. und 20. nördlichen Breitengrad in West-Ost-Richtung aufgereiht und durch einzelne Vulkangruppen voneinander geschieden sind. Die Abgrenzung gegenüber dem westlich liegenden Becken von Mexiko-Stadt erfolgt durch die Sierra Nevada mit ihren beiden höchsten Vulkanen Popocatepetl (5452 m) und Iztaccihuatl (5286 m); gegen Osten ist das Becken von Puebla-Tlaxcala durch den Vulkan Malinche (4461 m) vom östlich angrenzenden Becken von El Seco getrennt. Den nördlichen Abschluss bildet der Block von Tlaxcala, eine um 400-500 m herausgehobene Scholle; im Süden erfolgt eine Begrenzung durch Ausläufer der Cordillera Tentzo und durch die Sierra de Amozoc. Der zentrale Beckenbereich liegt innerhalb der Orte Puebla, Tlaxcala, Texmelucan, Huejotzingo und Cholula auf rund 2250 m ü.M. Er wird durch einen in Ost-West- Richtung verlaufenden Hügelzug, den Cerros de Xochitecatl y Zompitcatl, der nach Westen in einigen kleinen Vulkanen seine Fortsetzung findet, in einen nördlichen und einen südlichen Teil getrennt. Zwischen Puebla und Huejotzingo zeigt die Landschaft ein schwaches Relief, das vor allem gegen Süden durch zahlreiche kleinere Vulkane und Quellschuppen lebhafter wird. Die übrigen Gebiete des engeren Beckenbereiches sind eben und gehen nach Osten und Westen in die im unteren Teil sanft ansteigenden Hangflächen der grossen Vulkane über (TICHY 1968).

In die Hänge der Sierra Nevada und der Malinche sind zahlreiche tiefe Schluchten, die Barrancas, eingeschnitten. Die Barrancas, die während der Trockenzeit meist kein Wasser führen, münden im Bereich der Sierra Nevada in den Rio Atoyac, im Bereich der Malinche in den Rio Zahuapan. Die beiden Flüsse entwässern praktisch den gesamten Beckenbereich; nordnord-

westlich von Puebla mündet der Zahuapan in den Atoyac, der dann nach scharfem Knick in südlicher Richtung weiterfließt. Der zentrale Beckenbereich war bis in die jüngste Zeit Sumpfland; auch heute steht das Grundwasser noch auf grossen Flächen höher als 1 m unter der Oberfläche (KNOBLICH 1973).

Beim Popocatepetl handelt es sich um einen Stratovulkan, der seine stärkste Tätigkeit wahrscheinlich gegen Ende des Tertiärs entwickelte (TICHY 1968), aber noch bis in die jüngste Zeit Aschen und Bimse förderte (KNEIB et al. 1973) und heute Solfataren- und Fumarolentätigkeit zeigt. Die Malinche, eine tertiäre Vulkanruine, ist erloschen (TICHY 1968), doch lässt sich bei ihr bis ins Jungpleistozän eine parasitäre Förderung von Pyroklastika nachweisen (HEINE u. HEIDE-WEISE 1972, 1973). Die Sierra de Amozoc und die Cordillera Tentzo sind aus Kreidekalken aufgebaut, während am Südabfall des Blockes von Tlaxcala vorwiegend quartäre Seesedimente freigelegt sind, die auch in den Randpartien der Cerros de Xochitecatl y Zompitcatl an die Oberfläche treten (HILGER 1973). Die Hänge der grossen Vulkane, der Block von Tlaxcala, die Cerros de Xochitecatl y Zompitcatl und das Hügelland zwischen Huejotzingo und Puebla sind von mächtigen Lagen junger andesitisch-dazitischer (HEIDE-WEISE 1973) Aschen bedeckt, während der tiefste Beckenbereich von holozänen fluviatilen Sedimenten eingenommen wird.

Die mittlere Jahrestemperatur liegt bei 16-17°C und weist geringe jahreszeitliche, aber hohe tägliche Schwankungen auf. Der Jahresverlauf der Temperaturen einer Station im Untersuchungsgebiet (Huejotzingo) soll als Beispiel angeführt werden (Tab.1).

Tab. 1: Mittlere Tagestemperaturmaxima und -Minima in Huejotzingo (nach JAUREGUI 1968)

	Jan.	März	Mai	Juli	Sept.	Nov.
Maxima	25	31	31	28	27	26 ^{°C}
Minima	0	3	7	7	7	1 ^{°C}

Der wärmste Monat ist der Mai, da im Hochsommer durch die stärkere Bewölkung und die einsetzenden Niederschläge die

Temperaturen etwas absinken (JAUREGUI 1968).

Über 90 % der Niederschläge fallen in den Monaten Mai bis September, der Winter ist praktisch trocken. Die Höhe der Niederschläge beträgt im eigentlichen Beckenbereich 700-800 mm, in der Sierra Nevada und an der Malinche liegen die Werte beträchtlich höher, im Block von Tlaxcala etwas tiefer. Starkregen dominieren; das mittlere Niederschlagsmaximum für 24 h beträgt im engeren Beckenbereich 30-40 mm, wobei diese Mengen meist innerhalb $\frac{1}{2}$ -2 h fallen (JAUREGUI 1968).

Nach LAUER u. STIEHL (1973) kann das Klima im engeren Beckenbereich als frisch bis gemässigt und semiarid klassifiziert werden, im Block von Tlaxcala wird es als kühl und semiarid eingestuft.

Das Becken von Puebla-Tlaxcala wird heute landwirtschaftlich genutzt, wobei Bewässerungsfeldbau weit verbreitet ist. Aufgrund der Untersuchungen von KLINK (1973) ist aber anzunehmen, dass das Land vor der Inkulturnahme durch den Menschen bewaldet war.

Eine Übersicht über die Verbreitung der Böden gibt die beigelegte Karte der Bodengesellschaften (Abb.2, AEPPLI 1972, AEPPLI u. SCHÖNHALS 1973). Im engeren Beckenbereich sind in den jungen fluviatilen Ablagerungen Fluvisole und Gleysole* ausgebildet, während im übrigen Gebiet die Barroböden dominieren. Nur im Süden sind in jüngsten Aschen- und Bimsablagerungen des Popocatepetl (KNEIB et al.1973) Rhegosole und auf einem jungen Lavastrom Lithosole zu finden. Die im Gebiet südlich von Puebla und Cholula kartierten Vertisole sind mit den Barroböden verwandt, worauf noch eingegangen werden soll (s. Abschnitt 4.5.).

Der Tepetate selbst ist auf den Cerros de Xochitecatl y Zompitcatl und den Hügeln nördlich von Puebla weit verbreitet. Bei fortgeschrittener Erosion können bis zu drei Viertel der Oberfläche einer Erhebung von Tepetate eingenommen sein, doch sind auch dann noch Reste von Barroböden vorhanden. Umge-

* Bei der Kartierung wurden die Böden, soweit möglich, nach der FAO-Klassifikation (FAO 1968, 1969) bezeichnet.

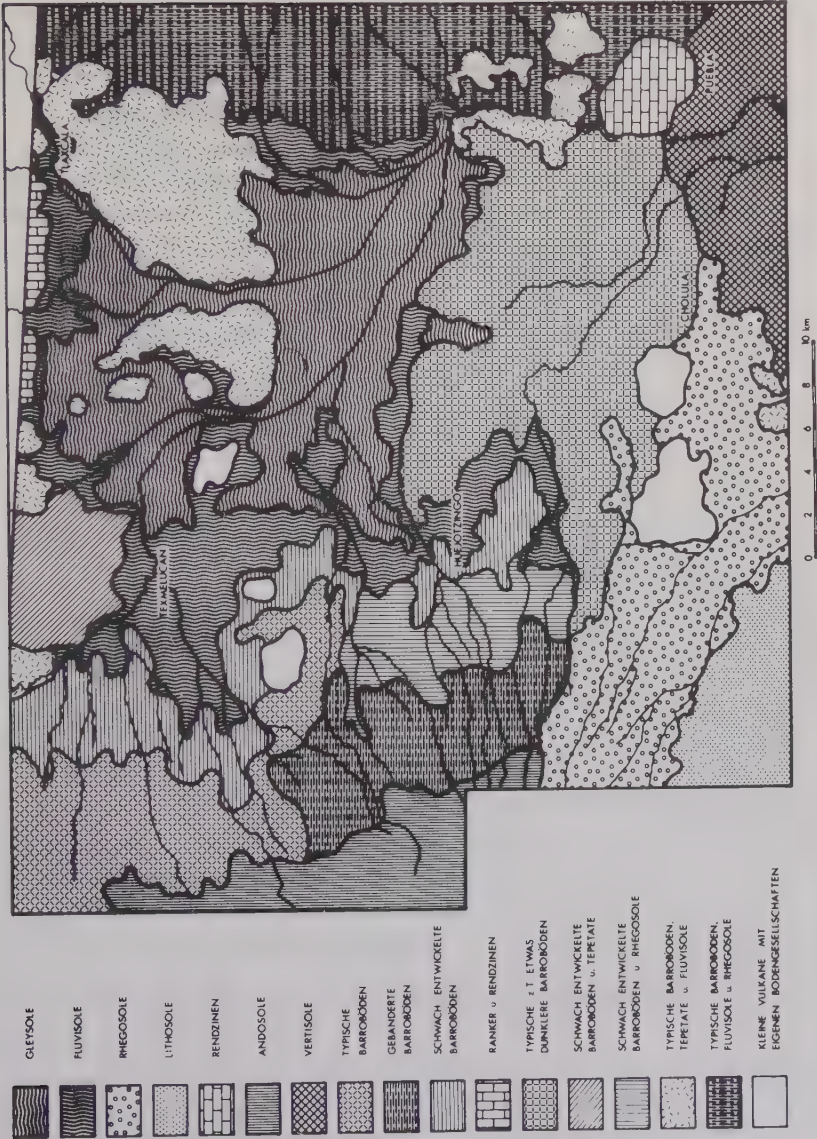


Abb. 2: Karte der Bodengesellschaften im Becken von Puebla-Tlaxcala

kehrt finden wir auch im Verbreitungsgebiet von Barroböden an erosionsgefährdeten Stellen sehr häufig Tepetate, nur ist dessen Ausdehnung meist so klein, dass er bei der Bildung der Bodengesellschaften nicht mehr berücksichtigt wurde.

Vom Block von Tlaxcala liegt keine Bodenkarte vor, so dass genaue Angaben über die Verbreitung der Böden nicht gemacht werden können. Wie Uebersichtsbefahrungen ergaben, sind aber auch in diesem Gebiet Tepetate und barrobodenähnliche Bildungen weit verbreitet.

4. Ergebnisse der Feldarbeiten

4.1. Beschreibung des Barrobodens

Die Barroböden zeichnen sich bei typischer Ausbildung durch folgende Eigenschaften aus (Abb.3*): Die Intensität der Verbraunung nimmt von oben nach unten ab; die dabei gebildeten Fe-Oxide und -Hydroxide geben dem Oberboden seine charakteristische rötlichbraune Farbe, die nach unten kontinuierlich in die im Normalfall gelbbraune Farbe des Ausgangsmaterials übergeht. Die Tongehalte ändern sich mit dem Grad der Verbraunung; die oberen, stark verbrauchten Horizonte haben die höchsten Tongehalte. Intensiv ausgebildete Varianten weisen im Oberboden Merkmale starker Quellung und Schrumpfung auf, dabei können schwache Selbstmischvorgänge stattfinden. Deutliche Anzeichen einer Tonverlagerung sind vorhanden. So findet man in den oberen Horizonten stellenweise sehr dicke Tonbeläge, die nach unten hin schwächer werden. Besonders in Grobporen kommt es aber zu einem sehr weit nach unten reichenden Tontransport. Eine durch die Tonverlagerung bedingte Differenzierung des Profils in einen A_1 - und einen B_c -Horizont konnte jedoch im Gelände nie festgestellt werden. Falls früher ein A_1 -Horizont vorhanden war, müsste er damit entweder abgetragen oder so verändert worden sein, dass er als solcher im Gelände nicht mehr erkannt werden kann. Es ist allerdings wahrscheinlicher, dass die Tonneubildung in den oberen Horizonten schneller erfolgte als der Tontransport nach unten, so dass sich in der Bilanz der Ton im Oberboden anreicherte. Auf diese Frage wird bei der Diskussion der Analysenergebnisse näher eingegangen. Typische Barroböden sind im Profil Metepec und in der Schicht 6 des Profils San Jerónimo ausgebildet.

4.2. Gefüge und Erosionsverhalten: Beziehungen zwischen Barroboden und Tepetate

Auch im Gefüge der Barroböden sind keine scharfen Horizontgrenzen ausgebildet. Das Gefüge ist in den oberen Horizonten

* Auf die in der Abbildung dargestellte Deckschicht (DS) wird im Abschnitt 4.7. eingegangen.

feinpolyedrisch, es wird nach unten hin polyedrisch-prismatisch, um im Unterboden in ein im allgemeinen grobblockiges Gefüge überzugehen. Wie das Blockdiagramm eines erodierten Barrobodens zeigt (Abb.4), wird der Tepetate durch diese unteren grobblockigen Horizonte gebildet. Auffallend ist, dass der tepetatebildende Horizont im frisch aufgegrabenen Profil nicht als solcher zu erkennen ist, d.h. es bestehen in feuchtem Zustand kaum Verhärtungsunterschiede zwischen dem Ober- und dem Unterboden. Erst wenn die Erosion einsetzt, bleibt der untere grobblockige Horizont stehen, während die oberen Horizonte abgetragen werden. Eine Vorstellung dieses Vorgangs geben die Blockdiagramme in Abb.5. Das unterschiedliche Verhalten des Ober- und Unterbodens ist eine Folge der abgelaufenen Bodenbildung. Die in den oberen Horizonten beträchtlichen Tongehalte führen durch Schrumpfung und Quellung zur Ausbildung eines feinpolyedrischen Gefüges, das durch Tonbeläge noch stabilisiert wird. Wird ein Barroboden z.B. durch Grabenerosion angeschnitten, trocknet die freigelegte Profilwand ab. Dabei werden die in den oberen Horizonten dominierenden feinen Aggregate durch eine leichte Schrumpfung im Verband so weit gelockert, dass sie sehr leicht durch Wasser und Schwerkraft, z.T. auch durch Wind, aus der Profilwand herausgebrochen und wegtransportiert werden. Demgegenüber zeigt der Unterboden wegen seiner geringeren Tongehalte kaum noch Quellungs- und Schrumpfungerscheinungen. Die Folge ist ein grobblockiges bis kohärentes Gefüge, dessen Aggregate infolge ihrer Größe und ihres festen Sitzes im Verband durch die einwirkenden Kräfte nicht mehr als Ganzes aus der Profilwand herausgebrochen werden. Die Erosion kann infolgedessen im Unterboden nur dadurch wirksam werden, dass von den Aggregaten Korn für Korn abgetragen wird. Da der Zusammenhalt der Körner insbesondere nach Austrocknung hoch ist, setzt das Material dieser Art von Abtrag sehr starken Widerstand entgegen; als Folge werden die oberen Horizonte flächenhaft bis auf die unteren tepetatebildenden Horizonte abgetragen.

Bei Wiederbefeuchtung wird zwar der Tepetate deutlich weicher, doch erfolgt nach den Geländebeobachtungen die Wasseraufnahme relativ langsam, so dass sich die Aufweichung bei



Abb. 3: Barroboden, Deckschicht

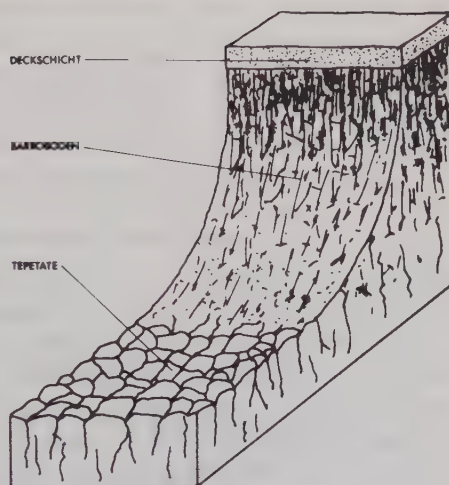


Abb. 4: erodierter Barroboden mit Tepetate, Deckschicht

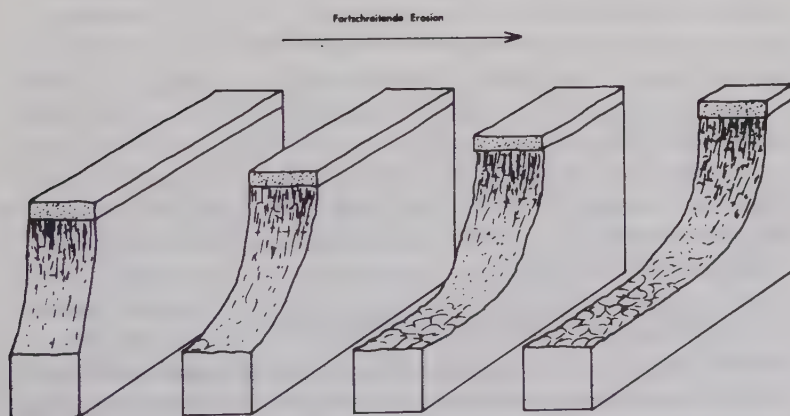


Abb. 5: Erosion eines Barrobodens

den im Gebiet dominierenden Starkregen nur in der obersten Zone des Tepetate etwas bemerkbar macht. Trotz dieser Aufweichung bleibt aber die Aggregatstabilität auch in feuchtem Zustand hoch, so dass der Erosion durch Wasser ein beträchtlicher Widerstand entgegengesetzt wird.

Das Gefüge der tepetatebildenden Horizonte ist im allgemeinen grobblockig bis prismatisch. Bei der Freilegung dieser Horizonte durch flächenhafte Erosion markieren die Grenzen zwischen den Aggregaten Schwächezonen, aus denen Material bevorzugt weggeführt wird. Dadurch zeichnen an der Oberfläche feine Erosionsrillen die Aggregatgrenzen nach, die das bereits erwähnte, für den Tepetate typische polygonale Muster bilden.

4.3. Tepetate und Krusten

Die ausserordentlich grosse mechanische Widerstandskraft des Tepetate beruht auf einer inneren Verkittung des Materials; makroskopisch sichtbare Krusten aus Kieselsäure oder Carbonaten kommen im Untersuchungsgebiet nicht vor. Allerdings sind manchmal dünne Krusten von 1-5 mm aus Fe-Oxiden und -Hydroxiden zu beobachten, doch müssen diese immer als sekundäre Erscheinungen angesehen werden. An diesen Stellen wurde auf einer schon existierenden Tepetateoberfläche Material abgelagert, das offensichtlich hohe Mengen an beweglichen Fe-Verbindungen enthielt. An der Grenze zwischen Tepetate und dem neuen Material kam es dann aufgrund der durch Körnungsinhomogenitäten unterschiedlichen Wasserspannung und der damit verbundenen Änderung im Red-Ox-Potential zur Fe-Ausfällung und damit zur Krustenbildung.

4.4. Entwicklungsstadien des Barrobodens

Die Laboruntersuchungen wurden nur an gut ausgebildeten, relativ weit entwickelten Barroböden durchgeführt. Der Barroboden als dominierende Kartiereinheit im untersuchten Gebiet umfasst aber mehrere Untereinheiten, die sich mit gewissen Einschränkungen zu einer Entwicklungsreihe zusammenstellen lassen. Die zwei wichtigsten Untereinheiten dieser Entwicklungsreihe werden im folgenden beschrieben. Allerdings dürfen

die Aussagen noch nicht als gesichert gelten, da keine Daten zu ihrer Untermauerung vorliegen.

Die Beschreibung fusst auf Beobachtungen, die an der Ostflanke der Sierra Nevada gemacht wurden. Ausgangsmaterial der Böden sind mächtige Lagen gelbbrauner sandig-schluffiger Pyroklastika, die möglicherweise äolisch umgelagert wurden.

4.4.1. Der Schwach entwickelte Barroboden

Der Schwach entwickelte Barroboden ist an Stellen mit hoher Erosionsrate oder in jungem Kolluvium zu finden. Die Fingerprobe lässt keine Differenzierung der Tongehalte über den Profilbereich erkennen. Trotzdem sind im Oberboden deutliche Anzeichen einer Bodenbildung festzustellen. So ist ein prismatisches bis grobprismatisches Gefüge ausgebildet, das nach unten kontinuierlich in das Kohärentgefüge des Ausgangsmaterials übergeht. Die Aggregatoberflächen weisen schwache, im allgemeinen rötlichbraune Beläge auf; daher zeigen die oberen Horizonte bei flüchtiger Betrachtung beträchtliche Farbunterschiede gegenüber dem Ausgangsmaterial.

4.4.2. Der Gebänderte Barroboden

Der Gebänderte Barroboden ist intensiver ausgebildet als der Schwach entwickelte Barroboden. Die oberen Horizonte sind deutlich verbraunt, ein Anstieg der Tongehalte gegenüber dem Ausgangsmaterial ist in der Fingerprobe spürbar. Der Oberboden weist ein prismatisches bis prismatisch-polyedrisches Gefüge auf, nach unten geht es kontinuierlich in ein Kohärentgefüge über. Tonbeläge sind vorhanden; ein zusätzliches Merkmal der Tonverlagerung ist die vertikale Differenzierung der oberen Horizonte in braungefärbte Bänder mit höheren und schwach gebleichte Zonen mit geringeren Tongehalten. Es handelt sich dabei wahrscheinlich um eine den mitteleuropäischen Bänderparabraunerden in Sanden analoge Erscheinung.

Die Kartiereinheit "Gebänderter Barroboden" umfasst Varianten mit relativ unterschiedlichen Tongehalten. Es scheint sich um ein Stadium zu handeln, das bei der Entwicklung zum Barroboden durchlaufen wird. In tonreichen Varianten ist die verti-

kale Differenzierung in Tonanreicherungs- und Tonverarmungs-zonen nur noch schwach ausgebildet; zusätzlich lassen sich erste Anzeichen einer stärkeren Quellung und Schrumpfung feststellen. Offenbar wird durch die fortschreitende Tonneubildung die Bänderung überprägt, der Gebänderte Barroboden entwickelt sich dadurch zum Typischen Barroboden.

Die tonreicheren Varianten der Gebänderten Barroböden sind meist mit Tepetate vergesellschaftet, was bei den tonärmeren Varianten und den Schwach entwickelten Barroböden nicht der Fall ist. Dies steht in Einklang mit der Annahme, den Tepetate als Folge der Bodenbildung zu betrachten. Nähere Angaben zu den wirksamen Mechanismen werden bei der Diskussion der Analysenergebnisse (Hauptteil 7) gemacht.

4.5. Vertisolähnliche Böden und Tepetate

Wie aus der Bodenkarte (Abb.2) ersichtlich ist, sind südlich von Puebla und Cholula vertisolähnliche Böden verbreitet. Tepetate ist in diesem Gebiet allerdings kaum zu finden, weil infolge des geringen Reliefs die Erosion stark zurücktritt. Vertisolähnliche Böden mit allen Erosionsstufen kommen hingegen im Block von Tlaxcala vor. Hier ist zu beobachten, dass sich diese vertisolähnlichen Bildungen genauso verhalten wie die Barroböden: Die oberen, tonreichen Horizonte mit ausgeprägten Vertisoleigenschaften werden abgetragen und zurück bleiben die unteren, grobblockigen Horizonte, die bei Austrocknung verhärten und dann einen sehr widerstandsfähigen Tepetate bilden.

Die Unterschiede zu den Barroböden ergeben sich durch einen höheren Tongehalt und die fast schwarze Farbe der oberen Horizonte. Die Selbstmischvorgänge dieser Horizonte sind intensiver, was zur Ausbildung sehr deutlicher Slickensides (USDA 1960, 1967) führt. Die tieferen Horizonte zeigen wie die Barroböden Merkmale einer Tonverlagerung, nur sind die Tonbeläge meist stärker und haben die gleiche dunkle Farbe wie die oberen Horizonte. Im untersten Teil des Profils, also in den tepetatebildenden Horizonten, sind im Gegensatz zu den Barroböden immer Staunässemerkmale zu beobachten, so vor allem

sehr viele dunkle Konkretionen. In einigen Fällen wurden auch carbonathaltige Konkretionen von 2-3 cm Länge und ca. 1,5 cm Durchmesser gefunden. Im konkretionsfreien Material war wie in allen übrigen Profilen kein Carbonat nachzuweisen.

Die Unterschiede zwischen den vertisolähnlichen Bildungen und den Barroböden beruhen wahrscheinlich auf dem Ausgangsmaterial. Die vertisolähnlichen Böden sind in auffallend hellen Pyroklastika, die zudem noch sehr dicht gelagert sind, ausgebildet. Beim Ausgangsmaterial (genauer gesagt bei den tiefsten Horizonten) der Barroböden handelt es sich hingegen um intensiv gelbbraun gefärbte Pyroklastika, die von ausserordentlich vielen Grobporen durchzogen sind.

Auf die hier beschriebenen Aehnlichkeiten zwischen den vertisolähnlichen Bildungen und den Barroböden wird bei der Diskussion der Analysenergebnisse (Hauptteil 8) noch näher eingegangen. In den Profilen Puebla und Hueyotlipan sind diese vertisolähnlichen Böden besonders typisch ausgebildet.

4.6. Stratigraphie

An stärker erodierten Stellen kann im Gelände fast immer beobachtet werden, dass nicht nur in einer Schicht ein Tepetate ausgebildet ist, sondern dass mehrere tepetatebildende Lagen stockwerkartig übereinander angeordnet sind. Besonders schön ist die Schichtfolge aufgeschlossen, wenn durch starke Grabenerosion tiefe Schluchten ausgespült wurden. Gerade in solchen Aufschlüssen kann man feststellen, dass auch in den tieferliegenden Schichten Böden ausgebildet sind, deren untere Horizonte jeweils einen Tepetate bilden. Da die Mächtigkeit der einzelnen Schichten meist nur 2-3 m beträgt, wurden sie in ihrer gesamten Tiefe durch die stattgefundene, relativ intensive Bodenbildung beeinflusst.

Das bizarre Aussehen der Erosionslandschaften im Untersuchungsgebiet ist durch das Vorhandensein mehrerer tepetatebildender Schichten bedingt. Wie aus Abb.6 ersichtlich ist, werden bei Einsetzen der Erosion zuerst die tonreichen Horizonte des in der obersten Schicht ausgebildeten Bodens flä-

chenhaft weggeführt. Der an die Oberfläche gelangende Tepetate kann an einer gefährdeten Stelle durch Grabenerosion durchschnitten werden. Dadurch wird der in der darunterliegenden Schicht ausgebildete Boden freigelegt; da seine oberen tonreichen Horizonte ebenfalls relativ leicht erodiert und weggeführt werden, verliert der darüberliegende Tepetate seine Auflage und bricht in groben Schollen ab. Die Erosion kann so ganze Schichtpakete erfassen, wodurch tiefe Schluchtsysteme mit mehr oder weniger terrassenförmigen Rändern entstehen (vgl. auch HEINE 1971).

Für ein relativ eng begrenztes Gebiet nördlich von Puebla liess sich aufgrund von im Gelände erkennbaren Merkmalen wie Farbe und Gefüge der in den einzelnen Schichten ausgebildeten Böden, Bimsanteil und Stellung in der Schichtfolge eine Stratigraphie der tepetatebildenden Lagen erstellen (Abb.7 u.8). Eine Korrelation der Schichtfolge mit benachbarten Gebieten war allein aufgrund der Geländebefunde nicht möglich, da sich die einzelnen Lagen infolge ihres ähnlichen Aufbaus schlecht voneinander unterscheiden lassen, stellenweise nur eine eng begrenzte Ausdehnung aufweisen oder in ihrem Aussehen wechseln. Da in dieser Arbeit vor allem die Bildung der Barroböden und des Tepetate behandelt wird, wurde die Stratigraphie nur soweit ausgebaut, dass die relative Stellung der einzelnen tepetatebildenden Schichten als gesichert gelten kann. Eine absolute Datierung durch ein Einpassen in schon vorhandene Stratigraphien (MOOSER 1967, CORNWALL 1968, HEINE u. HEIDE-WEISE 1972, 1973) wurde nicht versucht.

Wie Abb.8 zeigt, bestehen zwischen den Schichten 1, 2, 4, P und 5 in den einzelnen Profilen keine wesentlichen Unterschiede. Die Schichten 1, 2 und 5 zeigen relativ stark entwickelte Böden mit Tepetate in den unteren Horizonten. Die Bodenbildung in Schicht 5 setzte sich offenbar bis in die Schichten P und 4 fort, da auch die Schicht 4 tepetatebildend ist, aber keinen eigenen Boden aufweist. Die Schicht 1 kann in die Schichten 1a und 1b unterteilt werden, der ausgebildete Boden umfasst nach dem Geländebefund beide Schichten.

Hingegen ist die Schicht 3 in einigen Profilen einmal, in

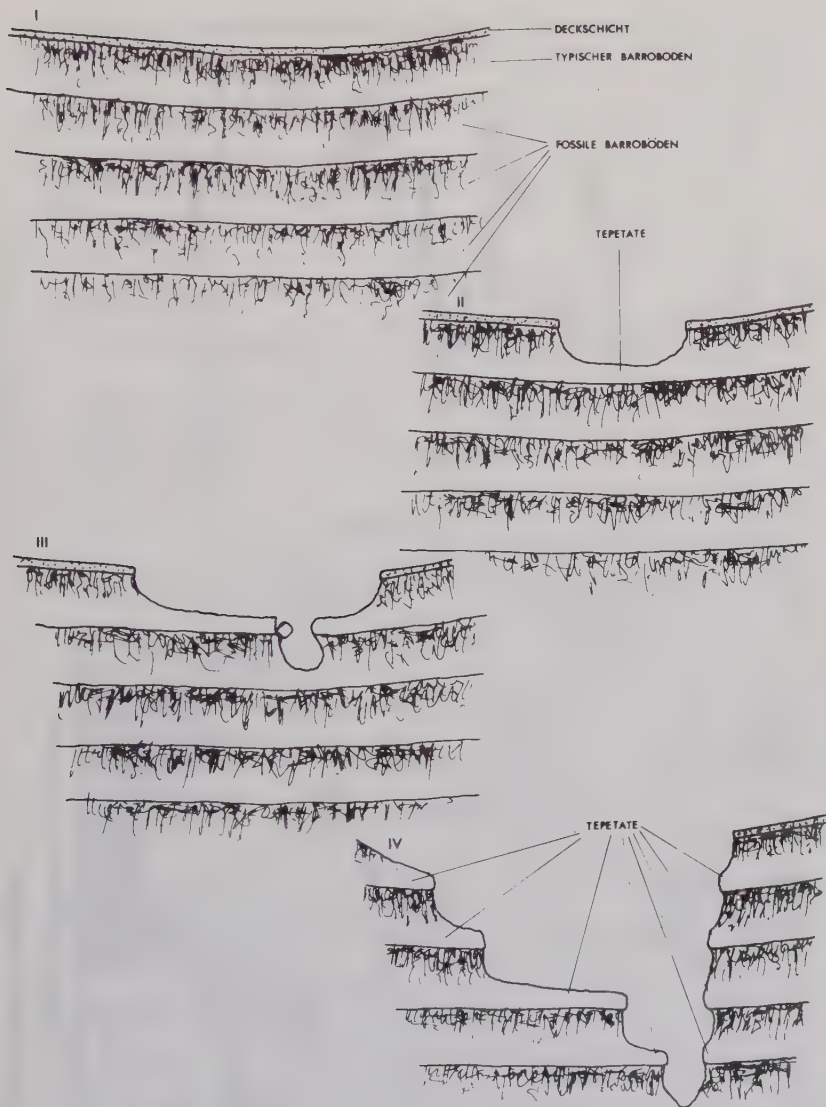


Abb. 6: Verschiedene Erosionsstadien eines Schichtpakets

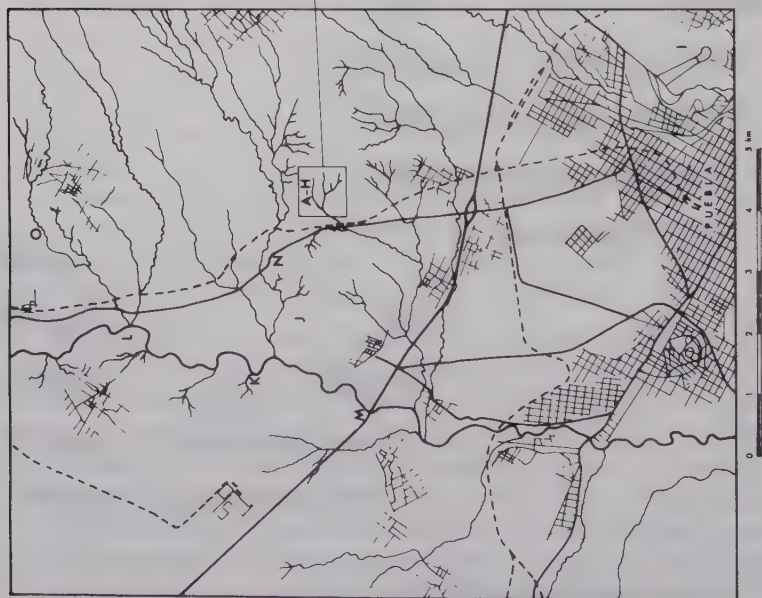


Abb. 7: Lage der Profile zur Stratigraphie

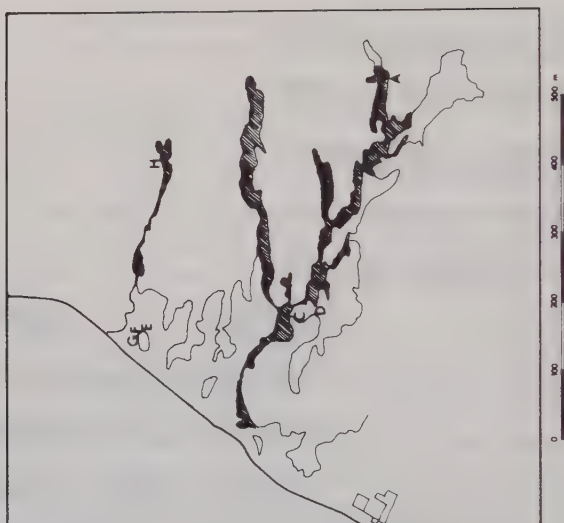
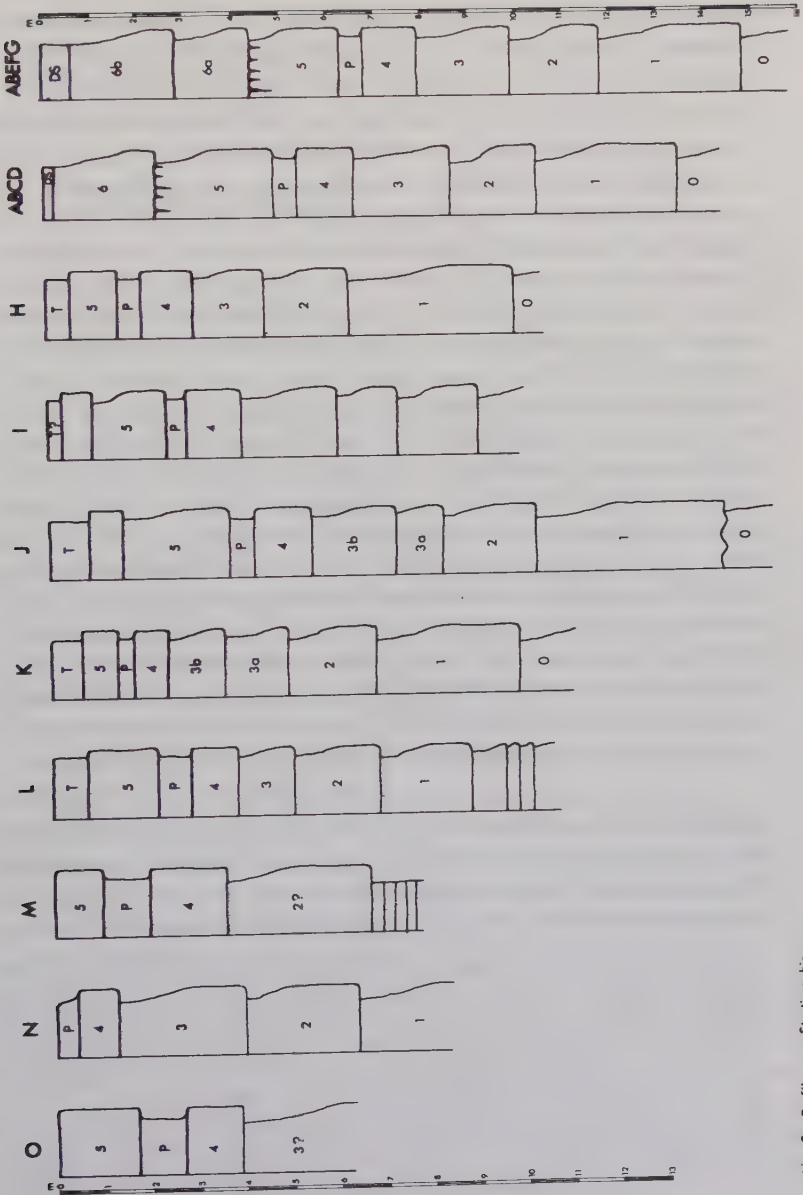


Abb. 9: Profil San Jerónimo: Probenentnahme



Al. 1.8: Profile zur Stratigraphie

anderen doppelt vorhanden. Dies dürfte auf Verlagerungsvorgänge zurückzuführen sein. Die jeweiligen Böden mit ihren Tepetate-Horizonten sind jeweils nur schwach ausgebildet.

Die meisten Profile sind bis auf den Tepetate der Schicht 5 erodiert, daher kann über die jüngeren Schichten nur wenig ausgesagt werden. Häufig sind Ueberreste eines Tepetate mit plattigem Gefüge (T) zu finden, der aus einem hellen Material besteht. Dieses zeigt grosse Aehnlichkeit mit dem Substrat, in dem sich südlich von Puebla und Cholula die vertisolähnlichen Böden entwickelten. Allerdings konnten solche Böden in den für die Stratigraphie wichtigen Profilen nicht beobachtet werden, da sie im obersten Bereich schon zu stark erodiert waren. Nur in einem Aufschluss wurde über der Schicht 5 eine weitere Lage (Schicht 6) gefunden, in der in typischer Weise ein Barroboden mit Tepetate entwickelt ist. Ob die Schicht 6 mit den Ueberresten des hellen Tepetate (T) in den anderen Profilen identisch ist, konnte nicht geklärt werden. In einem weiteren Aufschluss sind über der Schicht 5 die beiden schwach tepetatebildenden Lagen 6a und 6b vorhanden, die allerdings Merkmale einer Verlagerung aufweisen. Dass hier zwei Lagen ausgebildet sind, kann eine Folge dieser Verlagerung sein. In den beiden zuletzt erwähnten Aufschlüssen ist jeweils der oberste Barroboden (in der Schicht 6 bzw. 6b) durch die im folgenden Kapitel zu besprechende Deckschicht (DS) überlagert.

Im Gebiet nördlich von Puebla sind nach diesen Befunden mit Sicherheit 6 tepetatebildende Schichten nachzuweisen. Sie wurden bodenkundlich näher untersucht; auf eine eingehende Erläuterung soll aber an dieser Stelle verzichtet werden, da eine vollständige Profilbeschreibung im Abschnitt 5.5. folgt.

Alle Schichten bestehen aus andesitisch-dazitischen Aschen (HEIDE-WEISE 1973). In fünf von ihnen lassen sich Böden nachweisen, deren untere Horizonte tepetatebildend sind, die also eine den Barroböden vergleichbare Entwicklung durchgemacht haben müssen. Daraus darf geschlossen werden, dass das zur Zeit der einzelnen Bodenbildungsphasen herrschende Klima nicht grundsätzlich vom heutigen Klima abwich. Genauere Angaben sind aufgrund der vorliegenden Ergebnisse allerdings nicht möglich. Da

eine absolute Datierung der einzelnen Schichten fehlt, sind auch die Zeiträume unbekannt, die jeweils für eine Bodenbildung zur Verfügung standen. Aus Unterschieden der einzelnen Böden, z.B. im Verwitterungsgrad, darf daher nicht auf Unterschiede in den Klimabedingungen geschlossen werden.

4.7. Die Deckschicht (DS)

Wie die beigegefügte Bodenkarte zeigt (Abb.2), ist der Barroboden im Untersuchungsgebiet die am weitesten verbreitete Kartiereinheit. Allerdings tritt er nur an erodierten Stellen direkt an die Oberfläche, sonst ist er immer von einer unterschiedlich mächtigen, sandig-schluffigen Schicht überdeckt (Abb.3). Ausser einer Humusanreicherung sind in dieser Schicht, die im folgenden als Deckschicht (DS) bezeichnet wird, kaum bodenbildende Prozesse abgelaufen; allenfalls sind sehr schwache Anzeichen einer Verbraunung und Andeutungen von Belägen erkennbar. Eine gewisse Verhärtungsneigung ist häufig festzustellen; dabei kommt es zur Ausbildung eines schwach blockigen bis kohärenten Gefüges. Vor allem im Südwesten des Untersuchungsgebietes sind der Deckschicht grosse Mengen von Bims und Aschen beigemengt, die im Laufe der jüngsten Ausbrüche des Popocatepetl auch noch in den letzten 1000 Jahren gefördert wurden (KNEIB et al.1973, MIEHLICH 1973). Deshalb werden auch in diesem Gebiet die sonst üblichen Mächtigkeiten von 20-30 cm beträchtlich überschritten.

Verschiedene Geländebefunde deuten auf eine äolische Entstehung der Deckschicht hin. Gerade in der trockenen Jahreszeit sind die Bedingungen für Winderosion sehr günstig. Die Oberfläche der Böden trocknet vollständig aus; dies führt zu einer hohen Erosionsgefährdung des weit verbreiteten, nur schwach tonhaltigen Schwemmlandes, umsomehr, als in allen Böden des Untersuchungsgebietes ein Skelettanteil praktisch fehlt. Weiterhin sind die Windverhältnisse so, dass eine Ausblasung von Material tatsächlich stattfindet, wobei zwei Typen von Winderosion zu unterscheiden sind. So kommt es während der Trockenzeit zum einen an Tagen mit starker Sonneneinstrahlung durch konvektive Wetterlagen vor allem ab Januar zur Aus-

bildung kleiner lokaler Wirbelwinde, die beträchtliche Materialmengen aufnehmen und in mehrere hundert Meter Höhe bringen können. Da diese Windhosen nur einen jeweils kleinen Raum beeinflussen und nach kurzer Zeit zusammenbrechen, setzt sich in der folgenden relativen Windstille das ausgeblasene Material wieder ab, ohne dass eine Materialsortierung, wie sie für einen grossräumigen Transport charakteristisch wäre, stattfindet. Die Kennwerte der Korngrössenanalyse (s.Hauptteil 6) stehen mit dieser Beobachtung im Einklang.

Der andere Typ von Winderosion tritt bei Norte-Wetterlagen* auf, wenn ein stürmischer Nordwind über das Land fegt und grosse Bodenmengen verfrachtet. Im Gegensatz zur thermisch-bedingten Winderosion findet dabei eine stärkere Materialsortierung statt, indem gröberes Material über relativ kurze, feines hingegen über sehr weite Distanzen transportiert wird.

Welche der beiden Arten von Winderosion dominiert, lässt sich aus den zur Verfügung stehenden Klimadaten nicht abschätzen, umso mehr, als das Verhältnis der beiden je nach Gegend unterschiedlich sein dürfte. Wohl sind die Tage mit starker Sonneneinstrahlung häufiger als die mit Norte-Wetterlagen, doch fehlen Angaben über die an den jeweiligen Tagen transportierten Materialmengen (STIEHL 1973).

Im Beckenbereich deuten die Körnung und andere Eigenschaften der Deckschicht auf ein Dominieren des thermisch bedingten Windtransportes hin. So ist sie an den Hügeln überall in etwa gleicher Mächtigkeit und Ausprägung verbreitet, Luv- und Lee-Effekte, die beim Vorherrschen einer Windrichtung zu erwarten wären, konnten im Gelände nicht beobachtet werden. Nur im obersten Bereich von Kuppen ist die Deckschicht im allgemeinen etwas geringmächtiger. An den Hängen der Sierra Nevada nimmt ihre Mächtigkeit mit zunehmender Höhe ab und auf 2600-2800 m ü.M. ist sie nicht mehr anzutreffen (MIEHLICH u. KNEIB 1972). Nach LAUER (1971) tritt in dieser Höhe häufig eine Inversion auf, die einen Austausch der unteren mit den oberen Luftmassen und damit auch einen Weitertransport des mitgeführ-

* Norte-Wetterlagen sind Trog-Wetterlagen, die mit Kaltlufteinbrüchen aus polaren Breiten verbunden sind (STIEHL 1973).

ten Materials verhindert.

Weitere Hinweise auf eine äolische Herkunft der Deckschicht lassen sich in den Cerros de Xochitecatl y Zompitcatl gewinnen. Als Liefergebiete kommen dort in erster Linie das zentrale Schwemmland mit seinen relativ feinkörnigen Substraten und die unteren Malinchehänge in Frage. Letztere sind in weiten Bereichen von sehr jungen, ziemlich grobkörnigen Ablagerungen bedeckt, die bei Ueberschwemmungen entlang den Barrancas sedimentiert wurden. Im westlichen Teil des oben erwähnten Hügelzuges ist daher die Deckschicht geringmächtiger und vor allem feinkörniger als im östlichen Teil, der an die unteren Malinchehänge angrenzt.

Spricht die gleichmässige Ablagerung und Ausprägung der Deckschicht über ganze Hügelzüge hinweg eindeutig für eine äolische Herkunft, so sind hierfür aber auch die Sedimentationsbedingungen entscheidend gewesen. In erster Linie dürfte die in vorspanischer Zeit übliche Methode des Maisanbaus mit dem Pflanzstock eine Rolle gespielt haben, bei der die Felder fast ständig von einer Vegetationsdecke geschützt waren (REINA 1967). Die dadurch bedingte Abnahme der Windgeschwindigkeit in der bodennahen Luftschicht schuf günstige Sedimentationsbedingungen. Auch heute, nach Einführung des Pfluges, sind trotzdem viele der winderosionsgefährdeten Flächen durch starke Verunkrautung relativ gut geschützt. Zusätzlich wirkt die im Bereich der Hügel als Schutz gegen Erosion durch Wasser übliche Terrassierung dank der bewachsenen Feldraine auch der Winderosion entscheidend entgegen.

Aufgrund der Untersuchungen von KLINK (1973) darf angenommen werden, dass das Untersuchungsgebiet vor der Besiedlung durch den Menschen bewaldet und damit gegen Winderosion geschützt war. Erst die Ausdehnung des Ackerbaus auf Kosten des Waldes führte zu einer verstärkten Umlagerung von Bodenmaterial. Dafür spricht auch die Tatsache, dass nur in der Deckschicht Artefakte (meist Scherben und Bruchstücke von Obsidianklingen) gefunden werden, was für die darunterliegenden Barroböden nicht zutrifft.

4.8. Auswirkungen der Deckschicht

Die heute von der Deckschicht überlagerten Barroböden sind wahrscheinlich unter der früheren Waldvegetation entstanden. FLORES (1970b) fasst sie daher als fossile Bildungen auf. Nach den vorliegenden Geländebefunden erscheint allerdings der Begriff "fossil" nur bedingt anwendbar, da gerade bei einer nicht zu grossen Mächtigkeit der Deckschicht in den Barroböden auch heute noch bodenbildende Prozesse ablaufen, die mit den ausgebildeten Böden nicht in Widerspruch stehen.

Die Deckschicht verhindert aufgrund ihrer Körnung grössere Wasserverluste durch Evaporation. Feuchtigkeitsmessungen wurden zu dieser Fragestellung zwar nicht durchgeführt, doch konnte bei Bohrungen immer wieder festgestellt werden, dass auch bei fortgeschrittener Trockenzeit nur die obersten 15-20cm der Deckschicht ausgetrocknet waren, die tieferen Partien (auch innerhalb der Deckschicht) sich hingegen noch ausgesprochen feucht anfühlten. Besonders gut liessen sich diese Beobachtungen im Gebiet westlich von Cholula machen, wo durch hohe Bims- und Aschenbeimengungen die Deckschicht etwas grobkörniger und vor allem wesentlich mächtiger als üblich ausgebildet ist. Die relativ grobe Körnung bedingt einen sehr hohen Anteil der Grobporen am Gesamtporenvolumen. Bei abnehmenden Wassergehalten fallen diese schon bald trocken und da nur wenig Mittel- und Feinporen vorhanden sind, findet eine kapillare Wassernachlieferung aus dem Unterboden nur noch in sehr geringem Masse statt. Zusätzlich wirkt die ausgetrocknete Schicht als Schutz gegen die sehr intensive Sonneneinstrahlung, wodurch die Evaporation nochmals herabgesetzt wird. Eine Transpiration ist ebenfalls praktisch ausgeschaltet, da die Felder auf nicht bewässerten Flächen während der Trockenzeit im allgemeinen keine lebende Vegetation aufweisen.

Zusätzlich bedingt die grobe Körnung der Deckschicht, dass Niederschlagswasser leicht in den Boden eindringen kann, wodurch auch bei Starkregen der Oberflächenabfluss nur gering ist. Dies führt dazu, dass während der Regenzeit infolge der hohen Niederschlagsmengen das Bodenwasser sich von oben nach unten bewegt und der begrabene Barroboden wieder frisch durch-

feuchtet wird. Stellenweise konnten im Gelände in dem direkt dem Barroboden aufliegenden Teil der Deckschicht sogar deutliche Staunässemerkmale beobachtet werden.

Da im Barroboden, im Gegensatz zur Deckschicht, extrem hohe pF-Werte auch während Trockenperioden kaum erreicht werden, dürfte heute die Grenze Barroboden-Deckschicht die Zone mit den intensivsten Verwitterungsbedingungen darstellen, falls die Deckschicht eine mittlere Mächtigkeit aufweist. Daher ist anzunehmen, dass bodenbildende Prozesse wie z.B. Verbraunung und Tonneubildung im Barroboden auch heute noch ablaufen; er kann daher als rezente Bodenbildung angesprochen werden.

Für die landwirtschaftliche Nutzung der Barroböden ist die Deckschicht positiv zu bewerten. Die tonreichen Horizonte der Barroböden verhärteten bei Austrocknung und erschweren dann die Bearbeitung sehr stark, wie an erodierten Stellen beobachtet werden kann. Falls die Deckschicht eine Mächtigkeit erreicht, die das Austrocknen des Barrobodens verhindert, bildet er einen wertvollen Speicher für Wasser und Pflanzennährstoffe, da er offensichtlich aufgrund günstiger Struktureigenschaften von den Pflanzen leicht durchwurzelt werden kann, wie sich an aufgegrabenen Profilen immer wieder feststellen liess.

5. Beschreibung der untersuchten Profile

Die Horizontbezeichnung erfolgte in Anlehnung an die Kartieranleitung zur Bodenkarte 1 : 25 000 (ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENKUNDE 1971). Das Symbol B_t wird allerdings nicht im dort angegebenen morphogenetischen Sinne verwendet, sondern bezeichnet auch Horizonte, deren Ton überwiegend in-situ gebildet wurde, sofern die Aggregatoberflächen Tonbeläge oder Tonanreicherungs zonen aufweisen.

Die Bodenart wurde aufgrund der Korngrößenanalyse nach dem Bodenartendiagramm der Kartieranleitung bestimmt.

Zur Objektivierung der Farbansprache dienten die Farbtabelle n von MUNSELL (1954); die Bestimmung erfolgte in luft-trockenem und in angefeuchtetem Zustand.

Die Lage der Profile ist aus der Abb.1 ersichtlich; die Bezeichnung der Böden wurde nach dem im Kapitel 7.3.4. beschriebenen Vorschlag durchgeführt.

5.1. Profil Puebla

Aufnahme und Probenentnahme am 16.11.1971

Bezeichnung:	Tepetatebildender Vertisolähnlicher Barro-boden	
Lage:	Südlich der Ueberlandstrasse Puebla-Atlixco, von der Atoyacbrücke ca. 2 km in Richtung Atlixco	
Höhe ü.M.:	ca. 2200 m	
Jahresdurchschnittstemperatur und -Niederschlag:	16°C, 850 mm	
Ausgangsmaterial:	Kolluvium aus hellen andesitisch-dazitischen Aschen	
Relief:	eben	
Nutzung:	Ackerbau, keine Bewässerung	
0- 80cm	Deckschicht mit hohem Bims und Aschenanteil, unterteilt in:	
0- 20cm	A_p	grauer bis dunkelgrauer (trocken 10 YR 5/1, feucht 10 YR 3/1) schwach lehmiger bis lehmiger Sand, Einzelkorngefüge, humos, sehr gut durchwurzelt, gerader Uebergang zum
20- 40cm	A_h	grauer (trocken 10 YR 4/1, feucht 10 YR 3/1) schwach lehmiger bis lehmiger Sand, schwaches Kohärent- bis Einzelkorngefüge,

		im untersten Bereich plattiges Gefüge, humos, gut durchwurzelt, gerade, deutliche Grenze zum
40- 70cm	II A _h	grauer (trocken 10 YR 6/1, feucht 10 YR 3/1) schwach lehmiger bis lehmiger Sand, schwaches Kohärentgefüge, humos, gut durchwurzelt, gerade, deutliche Grenze zum
70- 80cm	III(S _w)A _h	grauer bis gelblichgrauer (trocken 10 YR 6/1 bis 2,5 Y 6/2, feucht 10 YR 4/2 bis 2,5 Y 4/2) lehmiger Sand, Kohärent- bis plattiges Gefüge, schwache Staunässemerkmale wie leichte Fleckung und Beginn einer Konkretionsbildung, schwach humos, durchwurzelt, gerade und scharfe Grenze zum
80-105cm	IV A _h	grauer (trocken 10 YR 5/1, feucht 10 YR 3/1) lehmiger Ton, prismatisches Gefüge, Aggregatoberflächen mit schwarzen (trocken 10 YR 3/1, feucht 10 YR 2/1) glänzenden Tonanreicherungszone(n) (Slickensides), humos, in den Schwundrissen gute Durchwurzlung, kontinuierlicher Uebergang zum
105-135cm	IV A _h B _t	gelbbraungrauer (trocken 2,5 Y 6/2, feucht 2,5 Y 5/2 bis 10 YR 5/3) lehmiger Ton bis toniger Lehm, grobprismatisches Gefüge mit starken dunklen (trocken 10 YR 4/1, feucht 10 YR 3/1) Tonbelägen, schwach humos, in Schwundrissen durchwurzelt, kontinuierlicher Uebergang zum
135-170cm	IV B _t	gelbbraungrauer (trocken 2,5 Y 6/2, feucht 2,5 Y 5/3) schwach toniger Lehm, grobprismatisches bis kohärentes Gefüge, dunkle (trocken 10 YR 4/3, feucht 10 YR 3/1) Tonbeläge, in den Schwundrissen schwache Durchwurzlung, kontinuierlicher Uebergang zum
+170cm	IV B _t ' _v G _o	heller (trocken 5 Y 8/2, feucht 5 Y 5/3) schluffiger Lehm, schwach prismatisches bis kohärentes Gefüge, sehr schwache gelblichbraune (trocken 10 YR 5/4, feucht 10 YR 5/3) Tonbeläge, zonenweise starke Anreicherung von schwarzbraunen (5 YR 2/1) Konkretionen, kaum durchwurzelt.
		Grundwasserstand zur Zeit der Aufnahme bei 350 cm.

Die Horizontgrenzen sind mehr oder weniger willkürlich gezogen, da mit Ausnahme der Schichtgrenzen im Profil nur fließende Uebergänge vorkommen. Ein weiteres Merkmal, das mit den Horizontgrenzen nicht direkt in Zusammenhang steht, ist das Vorhandensein von Krotowinen oder Wurzelgängen mit einem Durchmesser bis zu 8 cm, die mit dunklem Material gefüllt sind. Der

unterste dieser Gänge wurde in einer Tiefe von 260 cm gefunden.

Probenentnahme:	Entnahmetiefe	Horizont	Nr. der Probe
	10 cm	A _p	111/122
	30 cm	A _h	110/121
	55 cm	II A _h	109/120
	75 cm	III (S _w) A _h	108/119
	90 cm	IV A _h	107/118
	115 cm	IV A _h B _t	106/117
	150 cm	IV B _t	105/116
	185 cm	IV B _t , v G _o	104/115
	230 cm	IV B _t , v G _o	103/114
	270 cm	IV B _t , v G _o	102/113
	310 cm	IV B _t , v G _o	101/112

5.2. Profil Hueyotlipan

Aufnahme und Probenentnahme am 17.11.1971

Bezeichnung: Tepetatebildender Vertisolähnlicher Barro-boden

Lage: Nördlich der Strasse Apizaco-Textcoco, von Hueyotlipan ca. 3 km in Richtung Apizaco.

Höhe ü.M.: ca. 2600 m

Jahresdurchschnittstemperatur und -Niederschlag: 14°C, 700 mm

Ausgangsmaterial: Kolluvium aus hellen andesitisch-dazitischen Aschen

Relief: Südwest-Hang von etwa 8 % Neigung, das Profil liegt am Mittelhang, die umliegenden Partien sind sehr stark erodiert.

Nutzung: Hutung, bezüglich einer früheren ackerbaulichen Nutzung sind keine Aussagen möglich.

0- 15cm A_h Deckschicht, dunkelgraubrauner (trocken 10 YR 5/2, feucht 5 YR 2/2) sandiger Schluff, schwaches Kohärent- bis Einzelkorngefüge, humos, sehr gut durchwurzelt; kontinuierlicher Uebergang zum

15- 30cm A_h/II A_h Mischhorizont, schwarzbrauner (trocken 10 YR 4/2, feucht 10 YR 2/1) sandig-schluffiger bis schwach toniger Lehm, polyedrisches Gefüge, schwach ausgebildete Slickensides, humos, gut durchwurzelt, kontinuierlicher Uebergang zum

30- 60cm	II A _h	grauer bis dunkelgrauer (trocken 10 YR 5/1; feucht 10 YR 3/2) toniger Lehm, oben feinpolyedrisches, unten prismatisch-polyedrisches Gefüge, Aggregatoberflächen mit sehr dunklen (trocken 10 YR 3/1, feucht 10 YR 2/1) glänzenden Tonanreicherungs-zonen (Slickensides), humos, in den Schwundrissen gut durchwurzelt, kontinuierlicher Uebergang zum
60- 90cm	II B _t	gelblichgrauer (trocken 2,5 Y 7/2, feucht 2,5 Y 5/2) schwach toniger Lehm, polyedrisch-prismatisches Gefüge, starke dunkle (trocken 10 YR 3/1, feucht 10 YR 2/1) Tonbeläge, schwache Durchwurzelung entlang den Schwundrissen, kontinuierlicher Uebergang zum
90-130cm	II B _{vt} S _w	gelblichgrauer (trocken 2,5 Y 7/2, feucht 2,5 Y 5/2) schluffiger Lehm, prismatisches Gefüge, dunkle (trocken 10 YR 4/1, feucht 10 YR 3/1) Tonbeläge, schwarzbraune (10 YR 2/1) Konkretionen, im unteren Teil auch einige Konkretionen aus Carbonaten, umgebendes Material carbonatfrei, kaum durchwurzelt, kontinuierlicher Uebergang zum
+130cm	II S _{wd}	gelblichgrauer (trocken 2,5 Y 7/2, feucht 2,5 Y 5/2) sandig-lehmiger Schluff mit rötlichen (7,5 YR 5/6) und dunklen (2,5 Y 2/0) Flecken, dichtes Kohärentgefüge, bei Austrocknung verhärtend und ab 170 cm tepetatebildend, sehr viele schwarze (2,5 Y 2/0) Konkretionen.

Auch bei diesem Profil sind die Horizontgrenzen mehr oder weniger willkürlich gezogen, da die einzlnen Horizonte kontinuierlich ineinander übergehen. Bei 115 cm ist ein mit dunklem Material gefüllter Wurzelgang von 4 cm Durchmesser zu finden.

Probenentnahme:	Entnahmetiefe	Horizont	Nr. der Probe
	10 cm	A _h	140/147
	25 cm	A _h /II A _h	139/146
	45 cm	II A _h	138/145
	75 cm	II B _t	137/144
	110 cm	II B _{vt} S _w	136/143
	155 cm	II S _{wd}	135/142
	200 cm	II S _{wd}	134/141*

* Die Proben 134 und 141 wurden nicht direkt im Profil entnommen, sondern ca. 10 m entfernt an der Tepetateoberfläche.

5.3. Profil Xaltocan

Aufnahme und Probenentnahme am 18.11.1971

Bezeichnung: Tepetatebildender Vertisolähnlicher Barro-boden, umgelagert

Lage: Oestlich der Strasse Apizaco-Textcoco, von Xaltocan ca. 5 km in Richtung Textcoco

Höhe ü.M. ca. 2600 m

Jahresdurchschnittstemperatur und -Niederschlag: 15°C, 650 mm

Ausgangsmaterial: Kolluvium aus hellen andesitisch-dazitischen Aschen

Relief: Nordost-Hang von 5 % Neigung, das Profil liegt am Mittelhang, die Umgebung ist stark erodiert

Nutzung: Hutung, früher wahrscheinlich ackerbau-lich genutzt.

- | | | |
|----------|-------------------------------------|---|
| 0- 40cm | | Deckschicht, unterteilt in: |
| 0- 20cm | A _h | dunkelgraubrauner (trocken 10 YR 5/2, feucht 10 YR 3/1) schluffiger Sand, schwaches Kohärent-bis Einzelkorngefüge, humos, sehr gut durchwurzelt, kontinuierlicher Uebergang zum |
| 20- 40cm | (S _w)A _h | dunkelgrauer (trocken 10 YR 4/1, feucht 10 YR 2/1) lehmiger Sand, blockiges bis kohärentes Gefüge, im unteren Teil zunehmend schwarze (2,5 Y 2/0) Konkretionen und leicht gefleckt, humos, mässig durchwurzelt, gerade und scharfe Grenze zum |
| 40- 65cm | II A _h | dunkelgraubrauner (trocken 10 YR 5/2, feucht 10 YR 3/1) sandig-toniger Lehm, polyedrisches Gefüge, Aggregatoberflächen mit schwachen dunklen (trocken 10 YR 3/1, feucht 10 YR 2/1) Tonanreicherungs-zonen, humos, schwach durchwurzelt, kontinuierlicher Uebergang zum |
| 65- 95cm | II B _t | gelblichgrauer (trocken 2,5 Y 7/2, feucht 2,5 Y 5/2) schwach toniger Lehm, prismatisches Gefüge, starke dunkle (trocken 10 YR 4/2, feucht 10 YR 3/1) Tonbeläge, im untersten Teil plattiges Gefüge, scharfe, leicht gewellte Grenze zum |
| + 95cm | III S _{wd} B _{vt} | gelbbraungrauer (trocken 2,5 Y 7/2, feucht 2,5 Y 5/2) sandig-schluffiger Lehm, grob-polyedrisches bis blockiges Gefüge, bei Austrocknung verhärtend, tepetatebildend, dunkelbraune (trocken 10 YR 4/3, feucht 10 YR 4/2) Tonbeläge; in 140 cm Tiefe mit dunklem Material ausgefüllter Wurzelgang. |

Probenentnahme:	Entnahmetiefe	Horizont	Nr. der Probe
	10 cm	A _h	155/162
	30 cm	(S _w)A _h	154/161
	50 cm	II A _h	153/160
	75 cm	II B _t	152/159
	110 cm	III S _{wg} B _{vt}	151/158
	140 cm	III S _{wg} B _{vt}	150/157
	170 cm	III S _{wg} B _{vt}	149/156

5.4. Profil Metepec

Aufnahme und Probenentnahme am 20.2. und am 17.11.1971

Bezeichnung: Typischer Barroboden und tepetatebildender fossiler Barroboden

Lage: In den Cerros de Zompitcatl, ca. 1,5 km südwestlich von Metepec

Höhe ü.M. ca. 2300 m

Jahresdurchschnittstemperatur und -Niederschlag: 16°C, 800 mm

Ausgangsmaterial: Gelbbraune andesitisch-dazitische Aschen

Relief: Das Profil liegt im oberen Drittel eines Nordost-Hanges von 5 % Neigung, die umgebenden Partien sind stellenweise stark erodiert

Nutzung: Hutung, früher ackerbaulich genutzt

0- 40cm		Deckschicht, unterteilt in :
0- 15cm	A _p	graubrauner (trocken 10 YR 5/3, feucht 10 YR 3/2) lehmiger Sand, dicht gepacktes Einzelkorngefüge, humos, gut durchwurzelt, gerader und deutlicher Uebergang zum
15- 40cm	II(B _t)A _h	graubrauner (trocken 10 YR 4/3, feucht 10 YR 3/2) stark lehmiger Sand, blockiges bis kohärentes Gefüge, sehr schwache rötlichbraune (trocken 7,5 YR 5/2, feucht 7,5 YR 4/4) Tonbeläge, humos, gut durchwurzelt, gerade und scharfe Grenze zum
40-110cm	III B _t	graubrauner (trocken 10 YR 6/3, feucht 10 YR 3/3) schwach toniger Lehm, polyedrisch-prismatisches Gefüge, starke rötliche bis dunkelbraune (trocken 5 YR 3/2, feucht 5 YR 2/2) Tonbeläge, im oberen Teil Anzeichen von Schrumpfung und Quellung, in Schwundrissen gut durchwurzelt, kontinuierlicher Uebergang zum
110-200cm	III B _{tv}	gelblichbrauner (trocken 10 YR 6/3, feucht 10 YR 4/4) sandig-schluffiger Lehm, pris-

matisches bis kohärentes Gefüge, schwache, im oberen Teil rötlichbraune (trocken 5 YR 5/5, feucht 5 YR 4/4), nach unten zu graubraune (trocken 10 YR 5/3, feucht 10 YR 3/3) Tonbeläge, schwache Durchwurzelung, scharfe, wellige, an einigen Stellen zun-
genförmige Grenze zum

+200cm IV fB_{t,v}

brauner (trocken 10 YR 6/3, feucht 10 YR 4/3), im oberen Teil sandig-lehmiger Schluff, unten schluffig-lehmiger Sand, kohärentes Gefüge, sehr hart, nach unten zunehmender Anteil an Grobporen (ca. 1 mm Ø), im untersten Bereich tepetatebildend, schwache dunkelbraune (trocken 10 YR 5/4, feucht 10 YR 3/4) Tonbeläge.

Ueber das gesamte Profil sind einzelne, noch wenig verwitterte Mineralkörner von bis zu 1 mm Ø zu finden.

Probenentnahme:	Entnahmetiefe	Horizont	Nr. der Probe	
			20.2.71	17.11.71
	10 cm	A _p	27	133
	30 cm	II(B _t)A _h	28	132
	50 cm	III B _t		131
	60 cm	III B _t	29	
	90 cm	III B _t		130
	110 cm	III B _t	30	
	130 cm	III B _{tv}		129
	155 cm	III B _{tv}	31	
	170 cm	III B _{tv}		128
	190 cm	III B _{tv}	32	
	210 cm	IV fB _{t,v}		127
	240 cm	IV fB _{t,v}		126
	280 cm	IV fB _{t,v}		125
	310 cm	IV fB _{t,v}		124
	310 cm	IV fB _{t,v}		123*

* Die Probe 123 wurde nicht direkt im Profil, sondern ca. 5 m entfernt an der Tepetateoberfläche entnommen.

5.5. Profil San Jerónimo

Aufnahme und Probenentnahme im Februar und November 1971

Lage: Der Hügel San Jerónimo liegt östlich der Strasse Puebla-Tlaxcala zwischen Puebla und Panzacola. Der gesamte Hügel ist stark erodiert; drei besonders tiefe Erosionsschluchten liegen an seiner Nordwest-Seite. In diesen Schluchten ist die gesamte Schichtfolge aufgeschlossen. Die Beschreibung erfolgt hier für die einzelnen Schichten getrennt, wobei sich auch die Tiefenangaben immer nur auf die betreffende Schicht beziehen. Einen Ueberblick über das gesamte Profil gibt die Abb.8 im Abschnitt 4.6.. Die Abb.9 zeigt die Entnahmestellen, auf die bei der Beschreibung der einzelnen Schichten jeweils verwiesen wird.

Höhe ü.M.: ca. 2250 m

Jahresdurchschnittstemperatur und -Niederschlag: 16°C, 850 mm

Ausgangsmaterial: Verschiedene Lagen andesitisch-dazitischer Aschen.

5.5.1. Schicht 1 (Entnahme bei A)

Bezeichnung: Tepetatebildender fossiler Barroboden, zweischichtig

0- 65cm	B _t S _w	gelbgrauer (trocken 10 YR 7/2, feucht 10 YR 4/2) schwach toniger Lehm, prismatisch-polyedrisches Gefüge, graubraune (trocken 10 YR 6/4, feucht 10 YR 4/4) Tonbeläge, schwarze (10 YR 2/1) Flecken und Konkretionen, undeutliche Grenze zum
65-160cm	II B _{t1}	brauner (trocken 10 YR 6/3, feucht 10 YR 3/3 bis 3/4) schwach toniger Lehm, prismatisch-polyedrisches Gefüge, rötliche (trocken 7,5 YR 5/4 bis 5/6, feucht 7,5 YR 3/2 bis 4/4) Tonbeläge, kontinuierlicher Uebergang zum
160-200cm	II B _{t2}	graubrauner (trocken 10 YR 7/4, feucht 10 YR 4/4) sandiger Lehm, grobprismatisches bis blockiges Gefüge, rötlichbraune (trocken 7,5 YR 5/6, feucht 7,5 YR 4/4) Tonbeläge, einzelne, nur schwach angewitterte Mineralkörner, kontinuierlicher Uebergang zum
200-245cm	II B _{tv}	gelblichgrauer (trocken 2,5 Y 6/2, feucht 2,5 Y 4/2) sandiger Lehm, grobblockiges Gefüge, tepetatebildend, einzelne gut aus-

		gebildete braune (trocken 10 YR 5/6, feucht 10 YR 4/4) Tonbeläge in Grobporen und an Aggregatoberflächen, kontinuierlicher Uebergang zum
245-300cm	II B _{tv} S _w	gelblichgrauer (trocken 2,5 Y 6/2, feucht 2,5 Y 4/2) schwach lehmiger Sand, grobblockiges Gefüge, tepetatebildend, einzelne graubraune (trocken 10 YR 5/6, feucht 10 YR 4/4) Tonbeläge, viele schwarze (10 YR 2/1) Konkretionen, gewellte scharfe Grenze zum
+300cm	III B _t S _d	gelblichgrauer bis dunkelgrauer (trocken 5 Y 7/3, feucht 5 Y 4/1) schwach toniger Lehm, polyedrisches Gefüge, schwache braungraue (trocken 10 YR 6/4, feucht 2,5 Y 5/4) Tonbeläge, sehr viele schwarze (10 YR 2/1) Konkretionen und Flecken.

Der Horizont B_tS_w entspricht der Schicht lb, die Schicht la wird durch die Horizonte II B_{tl} bis II B_{tv}S_w gebildet, während es sich beim III B_tS_d um den obersten Horizont des in Schicht O ausgebildeten Bodens handelt.

Probenentnahme:	Entnahmetiefe	Horizont	Nr. der Probe Feb. 71 Nov. 71
	20 cm	B _t S _w	164
	40 cm	B _t S _w	38
	50 cm	B _t S _w	163
	80 cm	II B _{tl}	39 162a
	110 cm	II B _{tl}	161a
	120 cm	II B _{tl}	40
	140 cm	II B _{tl}	160a
	160 cm	II B _{tl} 2	41
	180 cm	II B _t 2	159a
	200 cm	II B _t 2	42
	220 cm	II B _{tv}	158a
	240 cm	II B _{tv}	43
	270 cm	II B _{tv} S _w	157a
	280 cm	II B _{tv} S _w	44
	310 cm	III B _t S _d	156a
	350 cm	III B _t S _d	155a

5.5.2. Schicht 2 (Entnahme bei B)

Bezeichnung:		Tepetatebildender fossiler Barroboden	
0- 90cm	B _t	brauner (trocken 10 YR 5/4, feucht 10 YR 3/4) sandig-schluffiger Lehm, prismatisches Gefüge, starke dunkelbraune (trocken 10 YR 3/3, feucht 10 YR 3/2) Tonbeläge, kontinuierlicher Uebergang zum	
90-195cm	B _{tv}	oben brauner (trocken 10 YR 6/3, feucht 10 YR 3/3), unten graubrauner (trocken 2,5 Y 7/2, feucht 2,5 Y 5/2) sandiger Lehm, blockiges bis kohärentes Gefüge, tepetatebildend, viele Grobporen (ca. 1 mm Ø), einzelne dunkelbraune (trocken 10 YR 4/3, feucht 10 YR 3/2), z.T. auch rotbraune (trocken 7,5 YR 5/6, feucht 5 YR 3/4) Tonbeläge an Aggregatoberflächen und in Poren, im unteren Bereich deutlicher Bimsanteil, im untersten Teil schwache Bleichungen (Staunässemerkmale?), scharfe Grenze zur darunterliegenden Schicht 1.	

Probenentnahme:	Entnahmetiefe	Horizont	Nr. der Probe	
			Feb.71	Nov.71
	10 cm	B _t	50	170
	40 cm	B _t	51	169
	70 cm	B _t	52	168
	100 cm	B _{tv}		167
	140 cm	B _{tv}	53	166
	180 cm	B _{tv}	54	165

5.5.3. Schicht 3 (Entnahme bei B)

Bezeichnung:		Schwach tepetatebildender fossiler Barroboden, evt. umgelagert.	
0-120cm	B _{vt}	graubrauner bis dunkelbrauner (trocken 10 YR 6/3, feucht 10 YR 4/3) sandig-toniger Lehm, nach unten in sandig-schluffigen Lehm übergehend, oben prismatisch-polyedrisches, unten prismatisches Gefüge, sehr viele Grobporen (ca. 1 mm Ø) oben schwache braune (trocken 10 YR 6/4, feucht 10 YR 3/4), unten stärkere dunkelbraune (trocken 10 YR 3/4, feucht 10 YR 3/2) Tonbeläge, viele aufgelockerte Bereiche (Krotowinen oder Wurzelgänge), kontinuierlicher Uebergang zum	
120-195cm	B _{tv}	graubrauner (trocken 10 YR 7/3, feucht	

10 YR 4/3) sandiger Lehm, grobprismatisches Gefüge, schwach tepetatebildend, sehr viele Grobporen (ca. 1 mm ϕ), schwache dunkelbraune (trocken 10 YR 3/4, feucht 10 YR 3/3) Tonbeläge, diffuse und im Gelände schlecht erkennbare Grenze zur darunterliegenden Schicht 2.

Probenentnahme:	Entnahmetiefe	Horizont	Nr. der Probe	
			Feb.71	Nov.71
	10 cm	B _{vt}	45	176
	40 cm	B _{vt}		175
	50 cm	B _{vt}	46	
	70 cm	B _{vt}		174
	90 cm	B _{vt}	47	
	100 cm	B _{vt}		173
	130 cm	B _{tv}	48	
	140 cm	B _{tv}		172
	180 cm	B _{tv}	49	171

5.5.4. Schicht 4 (Entnahme bei B)

Bezeichnung: Tepetate

O-120cm brauner (trocken 10 YR 7/3, feucht 10 YR 3/3) schluffig-lehmiger Sand, blockiges bis kohärentes Gefüge, tepetatebildend, viele Grobporen (ca. 1 mm ϕ), in den Poren dunkelbraune (trocken 10 YR 4/4, feucht 10 YR 3/2) Tonbeläge, scharfe gerade Grenze zur darunterliegenden Schicht 3.

Probenentnahme:	Entnahmetiefe	Horizont	Nummer der Probe	
			Feb.71	Nov.71
	20 cm	-		179
	60 cm	-	55	178
	100 cm	-		177

5.5.5. Schicht P (Entnahme bei B)

Bezeichnung: Verbraunter Bims

O- 50cm gelbbrauner (trocken 2,5 Y 5/2, feucht 10 YR 3/3) schwach lehmiger Sand mit hohem Fein- und Mittelkiesanteil (maximaler Durchmesser der einzelnen Bimskörner bis ca. 1 cm), kohärentes Gefüge, relativ

weich, viele Grobporen (ca. 1 mm Ø), meist mit braunen bis schwarzbraunen (trocken 5 YR 3/2, feucht 5 YR 2/2) Tonbelägen, gerade und scharfe Grenze zur darunterliegenden Schicht 4.

Probenentnahme:	Entnahmetiefe	Horizont	Nr. der Probe	
			Feb.71	Nov.71
	25 cm	-	56	180

5.5.6. Schicht 5 (Entnahme bei B und C)

Bezeichnung: Tepetatebildender fossiler Barroboden

0- 60cm	A _h B _t 'v	dunkelbrauner (trocken 7,5 YR 4/4, feucht 7,5 YR 3/2) schwach toniger Lehm, kohärentes Gefüge, ehemals prismatisches Gefüge noch heute an in die Matrix eingearbeiteten Tonbelägen erkennbar, einzelne mit hellem Material aus Schicht 6 angefüllte Spalten, sehr hart, sehr wenig Grobporen, schwach humos, kontinuierlicher Uebergang zum
60-150cm	B _{tv1}	brauner (trocken 10 YR 6/4, feucht 10 YR 3/4) sandig-schluffiger Lehm, kohärentes Gefüge, sehr viele Grobporen (ca. 1 mm Ø) mit schwarzbraunen (trocken 5 YR 3/2, feucht 5 YR 2/2) Tonbelägen, kontinuierlicher Uebergang zum
150-250cm	B _{tv2}	brauner bis gelbbrauner (trocken 10 YR 6/4, feucht 10 YR 4/4) lehmiger Sand, kohärentes Gefüge, tepetatebildend, extrem viele Grobporen (ca. 1 mm Ø), meist mit rötlichbraunen (trocken 7,5 YR 4/4, feucht 5 YR 3/4) Tonbelägen, im untersten Teil etwas Bims beigemischt, gerade, leicht diffuse Grenze zur darunterliegenden Schicht P.

Ueber das ganze Profil sind schwach angewitterte Mineralkörner von bis zu 2 mm Durchmesser vorhanden.

Probenentnahme:	Entnahmetiefe	Horizont	Nr. der Probe*
	20 cm	A _h B _t 'v	188/195
	50 cm	A _h B _t 'v	187/194
	80 cm	B _{tv1}	186/193
	110 cm	B _{tv1}	185/192
	150 cm	B _{tv1}	184/191
	160 cm	B _{tv2}	183
	195 cm	B _{tv2}	182
	230 cm	B _{tv2}	181

* Die Proben 181-183 wurden bei B, die übrigen bei C entnommen. Die Entnahme erfolgte für alle Proben im November 1971.

5.5.7. Schicht 6 (Entnahme bei C und D)

Bezeichnung:		Tepetatebildender Typischer Barroboden
0- 20cm	A _h	Deckschicht; dunkelgrauer (trocken 10 YR 4/2, feucht 10 YR 3/2) lehmiger Sand, schwach verhärtetes Kohärentgefüge bis schwach blockiges Gefüge, humos, gut durchwurzelt, gerade und scharfe Grenze zum
20- 75cm	II A _h B _t	gelbgrauer bis dunkelgraubrauner (trocken 10 YR 6/3, feucht 10 YR 3/3) toniger Lehm, polyedrisch-prismatisches Gefüge, dunkelbraune (trocken und feucht 10 YR 3/2) Tonbeläge, Anzeichen von Quellung und Schrumpfung, humos, in Schwundrissen gut durchwurzelt, kontinuierlicher Uebergang zum
75-135cm	II B _{tl}	gelbgrauer bis dunkelbrauner (trocken 10 YR 6/3, feucht 10 YR 3/3) schwach toniger Lehm, prismatisches Gefüge, sehr dunkle (trocken 7,5 YR 3/2, feucht 5 YR 2/2) Tonbeläge, in den Schwundrissen durchwurzelt, kontinuierlicher Uebergang zum
135-190cm	II B _{tl}	brauner (trocken 10 YR 6/3, feucht 10 YR 3/3) sandiger Lehm, prismatisches bis blockig-kohärentes Gefüge, dunkle (trocken 7,5 YR 3/2, feucht 5 YR 3/2) Tonbeläge, in den Schwundrissen schwach durchwurzelt, kontinuierlicher Uebergang zum
190-230cm	II B _{tl}	hellbrauner (trocken 10 YR 7/4, feucht 10 YR 4/3) stark lehmiger Sand, grobblockiges Gefüge, tepetatebildend, einige Grobporen, meist mit gelblichbraunen (trocken 10 YR 4/4, feucht 10 YR 3/4) Tonbelägen, sehr scharfe, z.T. zungenförmige Grenze zur darunterliegenden Schicht 5.

Ueber das ganze Profil sind schwach angewitterte Mineral-
körner von bis zu 2 mm Durchmesser vorhanden.

Probenentnahme:	Entnahmetiefe	Horizont	Nr. der Probe*
	10 cm	A _h	204/211
	30 cm	II A _h B _t	203/210
	60 cm	II A _h B _t	202/209
	90 cm	II B _{tl}	201/208
	120 cm	II B _{tl}	200/207
	150 cm	II B _{tl}	199/206
	180 cm	II B _{tl}	198/205
	200 cm	II B _{tv}	190/197
	220 cm	II B _{tv}	189/196

* Die Proben 189, 190, 196 und 197 wurden bei C, die übrigen bei D entnommen. Die Entnahme erfolgte bei allen Proben im November 1971.

5.6.8. Schicht 5 (Entnahme bei E)

Bezeichnung: Tepetatebildender fossiler Barroboden

0- 70cm	A _h B _{t,v}	oben brauner bis dunkelbrauner (trocken 10 YR 6/4, feucht 10 YR 3/4), unten dunkelbrauner (trocken 10 YR 5/4, feucht 10 YR 3/4) sandig-schluffiger Lehm, kohärentes Gefüge, sehr hart, ehemaliges prismatisches Gefüge noch erkennbar, einzelne Spalten mit Material aus der darüberliegenden Schicht 6a angefüllt, vor allem im unteren Bereich zahlreiche Grobporen (ca. 1 mm Ø), meist mit dunklen (trocken 10 YR 3/3, feucht 10 YR 3/2) Tonbelägen, schwach humos, kontinuierlicher Uebergang zum
70-170cm	B _{tv} 2	Beschreibung siehe bei Schicht 5 (Entnahme bei B und C)

Probenentnahme:	Entnahmetiefe	Horizont	Nr. der Probe*
	10 cm	A _h B _{t,v}	214/220
	30 cm	A _h B _{t,v}	213/219
	60 cm	A _h B _{t,v}	212/218
	80 cm	B _{tv} 2	183
	120 cm	B _{tv} 2	182
	160 cm	B _{tv} 2	181

* Die Proben 181-183 wurden bei B, die übrigen bei E entnommen. Die Entnahme erfolgte bei allen Proben im November 1971.

5.5.9. Schicht 6a (Entnahme bei E und F)

Bezeichnung:		Schwach tepetatebildender Schwach entwickelter fossiler Barroboden, wahrscheinlich umgelagert
0- 95cm	B _{vt}	brauner (trocken 10 YR 5/3, feucht 10 YR 3/3) sandiger Lehm, schwach prismatisches bis kohärentes Gefüge, vor allem im oberen Teil schwache dunkle (trocken 10 YR 3/2, feucht 10 YR 2/1) Tonbeläge, kontinuierlicher Uebergang zum
95-160cm	B _{tv}	brauner (trocken 10 YR 6/3, feucht 10 YR 3/3) stark lehmiger Sand, kohärentes Gefüge, schwach tepetatebildend, sehr viele Grobporen mit dunklen (10 YR 3/2) Tonbelägen, vor allem im unteren Teil Anzeichen von Umlagerungen erkennbar und geringe Bimsbeimengungen, scharfe, stellenweise zungenförmige Grenze zur darunterliegenden Schicht 5.

Probenentnahme:	Entnahmetiefe	Horizont	Nr. der Probe*
	10 cm	B _{vt}	227/232
	30 cm	B _{vt}	226/231
	60 cm	B _{vt}	225/230
	80 cm	B _{vt}	224/229
	100 cm	B _{tv}	217/223
	130 cm	B _{tv}	216/222
	150 cm	B _{tv}	215/221

* Die Proben 215-217 und 221-223 wurden bei E, die übrigen bei F entnommen. Die Entnahme erfolgte bei allen Proben im November 1971.

5.5.10. Schicht 6b (Entnahme bei G)

Bezeichnung:		Schwach tepetatebildender Typischer Barroboden, wahrscheinlich umgelagert.
0- 60cm		Deckschicht, unterteilt in:
0- 40cm	A _h	graubrauner (trocken 10 YR 5/3, feucht 10 YR 3/1) lehmiger Sand, schwach kohärentes bis schwach blockiges Gefüge, humos, gut durchwurzelt, diffuser Uebergang zum
40- 60cm	S _w A _h	grauer (trocken 10 YR 6/1, feucht 10 YR 4/2) sandiger Lehm mit leichten Bleichzonen, schwach kohärentes bis schwach

blockiges Gefüge, Beginn einer Konkretionsbildung, humos, gut durchwurzelt, scharfe und gerade Grenze zum

60- 85cm II A_hB_t

brauner (trocken 10 YR 5/3, feucht 10 YR 3/3) sandig-toniger Lehm, polyedrisch-prismatisches Gefüge, Merkmale von Quellung und Schrumpfung, starke dunkelbraune (trocken 10 YR 4/2, feucht 10 YR 3/2) Tonbeläge, schwach humos, entlang den Schwundrissen gut durchwurzelt, kontinuierlicher Uebergang zum

85-175cm II B_{vt}

brauner (trocken oben 10 YR 5/3, unten 10 YR 6/3, feucht 10 YR 3/4) schwach toniger Lehm, prismatisches Gefüge, viele Grobporen, dunkle (10 YR 3/2) Tonbeläge, schwach durchwurzelt, kontinuierlicher Uebergang zum

175-280cm II B_{tv}

brauner (trocken 10 YR 5/3, feucht 10 YR 3/2) sandiger Lehm, blockiges bis kohärentes Gefüge, sehr schwach tepetatebildend, sehr viele Grobporen, in den Poren einzelne dunkle (trocken 10 YR 3/3, feucht 10 YR 3/2) Tonbeläge, Anzeichen einer Umlagerung, ohne sichtbare Grenze in die darunterliegende Schicht 6a übergehend.

Probenentnahme:	Entnahmetiefe	Horizont	Nr. der Probe Feb.71 Nov.71	
	10 cm	A _h	244	
	20 cm	A _h	67	
	30 cm	A _h	243	
	50 cm	S _w A _h	68	242
	70 cm	II A _h B _t	69	241
	100 cm	II B _{vt}		240
	110 cm	II B _{vt}	70	
	130 cm	II B _{vt}		239
	160 cm	II B _{vt}	71	238
	190 cm	II B _{tv}		237
	210 cm	II B _{tv}	72	236
	240 cm	II B _{tv}		235
	270 cm	II B _{tv}		234

6. Laboruntersuchungen

6.1. Angewandte Methoden

Soweit es sich um Standardverfahren handelt, wird der Analysengang nur stichwortartig beschrieben und auf die Literatur verwiesen.

Die Untersuchungen erfolgten an skelettfreiem Material, Gehaltsangaben beziehen sich auf die bei 105°C getrocknete Feinerde.

Für den Gesamtaufschluss wurden die Proben in Konkretionen und übriges Material aufgeteilt, die Konzentrationen der einzelnen Elemente für die beiden Fraktionen getrennt bestimmt und die Gehalte der Gesamtprobe aus den jeweiligen Wertepaaren rechnerisch ermittelt.

6.1.1. pH-Messung

Die pH-Messung erfolgte elektrometrisch in H₂O und in 1 n KCl bei einem Boden-Flüssigkeits-Verhältnis von 1 : 2,5 (SCHLICHTING u. BLUME 1966).

6.1.2. C-Gehalte

Trockene Verbrennung der Probe im O₂-Strom und konduktometrische Bestimmung des in NaOH eingeleiteten CO₂ im WOESTHOFF-Gasanalysengerät (SCHLICHTING u. BLUME 1966).

6.1.3. Korngrößenanalyse

Die Proben wurden 2 h in 100 ml 0,1 n Na₄P₂O₇ geschüttelt. Die Trennung der Fraktionen 2000-630, 630-200 und 200-63 µ erfolgte durch Sieben, die der Fraktionen 63-20, 20-6,3, 6,3-2 und 2 µ nach Auffüllen mit H₂O auf 1000 ml durch Abhebern (KÖHN nach SCHLICHTING u. BLUME 1966). Damit die Summe der Fraktionen genau 100 % beträgt, wurden die Einzelwerte mit einem entsprechenden Faktor multipliziert. Dies erleichterte die Darstellung der Resultate in graphischer Form.

6.1.4. Gesamtaufschluss (K_t , Na_t , Ca_t , Mg_t , Al_t , Fe_t ,
 Mn_t , Ti_t und Si_t)

K, Na, Ca, Mg, Al, Fe, Mn und Ti wurden durch Abrauchen mit HF und $HClO_4$ nach JACKSON (1960) aufgeschlossen. Im salzsauren Extrakt wurden die Konzentrationen von K und Na direkt im Flammenphotometer, von Al, Fe, Mn und Ti direkt im Atomabsorptionsspektralphotometer (AAS) gemessen. Die Mg-Bestimmung erfolgte flammenphotometrisch, wobei die erhaltenen Werte um einen von der jeweiligen Fe-Konzentration abhängigen Korrekturwert verringert wurden. Die Ca-Konzentration wurde mit dem AAS unter Zusatz von 2000 ppm La gemessen, um den Einfluss des Al zurückzudrängen (ALTHAUS 1966).

Für die Si-Bestimmung wurden 0,1 g der Probe in 1 g Na_2CO_3 geschmolzen, die Carbonate anschliessend in 5 ml 5 n HCl gelöst, die Suspension mit 100 ml 1 n NaOH versetzt und auf 250 ml mit H_2O aufgefüllt. Vor der Messung der Si-Konzentration mit dem AAS wurden die ausgeflockten Metall-Oxide und -Hydroxide abzentrifugiert.

6.1.5. Extraktionsverfahren.

Bei allen Extraktionsverfahren wurden die Konzentrationen der entsprechenden Elemente direkt in der Extraktionslösung mit dem AAS gemessen.

6.1.5.1. Dithionitlösliches Fe, Mn und Al (Fe_d , Mn_d , Al_d)

1 g Boden wurde mit Dithionit-Citrat nach dem Verfahren von MEHRA u. JACKSON (SCHWERTMANN 1964) extrahiert.

6.1.5.2. Oxalatlösliches Fe und Mn (Fe_o , Mn_o)

Extraktion von 1 g Boden in 100 ml oxalsaurem NH_4 -Oxalat nach SCHWERTMANN (1964).

6.1.5.3. Laugelösliches Al und Si (Al_{OH} , Si_{OH})

In Anlehnung an HASHIMOTO u. JACKSON (1960) und eine Analysenanleitung des Institutes für Bodenkunde und Waldernäh-

rung, Göttingen (FASSBENDER 1972), wurde 1 g Boden mit 50 ml 0,5 n NaOH während 1 h bei 60°C extrahiert.

6.1.5.4. Wasserlösliches Si ($\text{Si}_{\text{H}_2\text{O}}$)

1 g Boden wurde während 1 h mit 50 ml H_2O bei 80°C extrahiert.

6.1.6. Zerfallsverhalten des Tepetate

Strukturproben wurden in 10 % HCl, in H_2O und in 25 % NaOH gestellt und beobachtet, ob und wie schnell sie zerfallen. Behielt die Probe in HCl und H_2O ihre ursprüngliche Struktur, zerfiel aber in NaOH, wurde auf Kieselsäureverbindungen als Hauptbindemittel geschlossen. Blieben die Proben nur in HCl einigermaßen stabil, wurden ebenfalls Kieselsäureverbindungen, allerdings in geringerer Konzentration, als Ursache der Verkitung angesehen.

6.1.7. Allophanbestimmung

Der Nachweis erfolgte nach dem halbquantitativen Schnelltest von FIELDES u. PERROT (1966): Ein Filtrierpapier wird mit einer 0,1 %igen alkoholischen Phenolphthaleinlösung getränkt und getrocknet. Eine Spatelspitze Boden wird auf das Papier gegeben, mit 2-3 Tropfen einer 5 %igen wässrigen NaF-Lösung versetzt und nach 2 min die Rotfärbung des Papiers notiert. Die Beurteilung erfolgt nach einer Relativskala: Farblos = kein oder sehr geringer, rosa = geringer und rot = deutlicher Allophangehalt.

6.1.8. Tonmineralbestimmung

Nach einer Analysenanleitung des Institutes für Bodenkunde und Bodenerhaltung, Giessen, wurden Röntgenbeugungsaufnahmen an orientierten Präparaten mit je 16 mg Gesamtton durchgeführt (TRIBUTH 1972).

Vorbehandlung: Humuszerstörung mit H_2O_2 und Eisenentfernung mit Dithionit-Citrat. Zusätzlich wurde je eine Variante einer Allophanzerstörung mit 0,5 n NaOH nach HASHIMOTO u. JACKSON (1960) unterzogen.

Ausgangsbasis für die Messungen war das Ca-belegte Präparat; folgende Nachbehandlungen wurden durchgeführt:

- Zusatz von Glycerin
- K-Belegung (mit und ohne Erhitzen auf 80°C)
- K-Belegung (ohne Erhitzen), anschliessend Glycerinzusatz
- Behandlung mit Dimethylsulfoxid (DMSO) (48 h bei 80°C)
- DMSO-behandelte Proben 8 mal mit H₂O gewaschen

6.1.9. Mikromorphologische Untersuchungen

Luftgetrocknete Strukturproben im Format 4 x 6 x 8 cm wurden in Vestopal 160 eingebettet, zersägt und auf 30 - 40 µ geschliffen (ALTEMÜLLER 1972).

6.2. Ergebnisse der Laboruntersuchungen

In diesem Abschnitt werden die für die Diskussion wichtigen Analysendaten der untersuchten Profile in graphischer bzw. tabellarischer Form wiedergegeben.

Zur Abschätzung des Analysenfehlers wurden in jeder Analysenserie von einem Teil der Proben (10-20 % der insgesamt untersuchten Proben) die entsprechenden Werte zweimal ermittelt. Durch eine Streuungszerlegung konnte der Analysenfehler berechnet werden, er wird als Variabilitätskoeffizient (V (in %) = $\frac{s \cdot 100}{\bar{x}}$; s^2 = Streuung, $\bar{x}$ = Mittelwert) für die einzelnen Untersuchungen angegeben.

Wie aus dem Hauptteil 5 hervorgeht, erfolgte die Probenentnahme wohl bei allen Profilen doppelt, aber nur bei einem Teil zum gleichen Zeitpunkt. Bei diesen Profilen wurden die Mittelwerte der Parallelproben zur Darstellung der Analysendaten verwendet. Zusätzlich wurde versucht, durch einen Vergleich der Streuung innerhalb der Parallelen (= innerhalb der Horizonte) mit der Streuung zwischen den Mittelwerten der Parallelen (= zwischen den Horizonten) das Ausmass der horizontalen und der vertikalen Differenzierung innerhalb eines Profiles abzuschätzen. Nach diesem Denkmodell (MIEHLICH 1970) sind Unterschiede zwischen verschiedenen Horizonten nur dann gesichert, wenn die Streuung zwischen den Horizonten signifikant höher liegt als die Streuung innerhalb der Horizonte.

Als Testgrösse für die Signifikanz dient das Verhältnis F der Summe der Quadrate (= Summe der Quadrate der Abweichungen der Einzelwerte vom Mittelwert) zwischen den Gruppen zur Summe der Quadrate innerhalb der Gruppen. Damit sind Unterschiede zwischen den Horizonten umso besser gesichert, je höher das Verhältnis F ist. Die in den Tabellen angegebenen Indexe sind Symbole für das Mass der statistischen Sicherung. x bedeutet eine Irrtumswahrscheinlichkeit von gleich oder kleiner 5 %, xx von 1 % und xxx von 0,1 %. Beim Vorhandensein dieser Symbole lässt sich aus den Unterschieden zwischen den Horizonten mit der entsprechenden Sicherheit auf eine im Profil vorhandene vertikale Differenzierung schliessen. Liegt der Wert ausserhalb der Sicherungsgrenzen, wird zum Vergleich der gerade

noch mit 5 % sicherbare F-Wert in Klammern angegeben.

Um Analysenfehler und Geländestreue der Eigenschaften vergleichen zu können, wird die Streue innerhalb der Horizonte zusätzlich in Form des Variabilitätskoeffizienten ausgedrückt. Es ist beim Vergleich darauf zu achten, dass in diesem Variabilitätskoeffizienten sowohl die eigentliche Geländestreue (innerhalb der Horizonte) als auch der Analysenfehler enthalten sind.

Von den anderen Profilen wurde im Aufenthalt 1970/71 eine erste, im Aufenthalt 1971/72 eine zweite, etwas differenzierte Serie von Proben entnommen. Da auch die Analysen dieser beiden Serien in zwei ca. ein Jahr auseinanderliegenden Durchgängen erfolgte, sind die Parallelwerte in ihrer absoluten Höhe nur schlecht vergleichbar, weshalb auf eine Mittelwertbildung und auf eine Streuungszerlegung verzichtet wurde. Als Grundlage der Darstellungen dienen die Werte der jüngeren Probenserie.

Bei Proben mit Konkretionen wurde der Gesamtaufschluss für Konkretionen und übriges Material getrennt durchgeführt, doch basieren die hier wiedergegebenen Darstellungen auf den rechnerisch ermittelten Werten der jeweiligen Gesamtprobe.

Die graphischen Darstellungen wurden wegen der besseren Uebersichtlichkeit in Form von Stufendiagrammen mit für die einzelnen Fraktionen unterschiedlichen Rastern wiedergegeben. Bei den Elementen Fe, Al und Si ergab allerdings die Fraktionierung Werte, die um ein bis zwei 10er-Potenzen unter den Gesamtgehalten liegen. Um trotzdem die Gesamtgehalte und die Fraktionen in einem Diagramm anschaulich darstellen zu können, wurden für die einzelnen Fraktionen und die Gesamtgehalte unterschiedliche Massstäbe gewählt. Eine direkte Differenzbildung (z.B.: $Fe_t - Fe_d = \text{silikatisch gebundenes Fe}$) ist daher in diesen Darstellungen nicht möglich; damit lässt sich, um beim Beispiel der Fe-Fraktionierung zu bleiben, aus der dunkelsten Fläche nicht auf die Gehalte an silikatisch gebundenem Fe schliessen.

Sämtliche Analysendaten sind im Anhang in Tabellen zus

gefasst. Die Einzelwerte, aus denen die in den folgenden Abschnitten abgebildeten Darstellungen zusammengestellt wurden, sind dort ebenso wie die Werte wiedergegeben, auf deren Darstellung hier verzichtet wird.

6.2.1. Analysenfehler

Tab. 2: Analysenfehler, ausgedrückt in Form des Variabilitätskoeffizienten V (in %) = $\frac{s \cdot 100}{\bar{x}}$; s^2 = Streuung, $\bar{x}$ = Mittelwert.

gS	24,2 %	gU	4,7 %
mS	3,5 %	mU	6,1 %
fS	4,0 %	fU	6,8 %
S	2,5 %	Fe _o	n.b.
U	3,9 %	Fe _d	4,8 %
T	3,2 %	Fe _t	2,4 %
Al _d	7,7 %	Si _{H2O}	11,2 %
Al _{OH}	4,1 %	Si _{OH}	5,0 %
Al _t	1,5 %	Si _t	5,0 %
Mn _d	6,2 %	Ti _t	9,0 %
Mn _t	3,4 %	C	n.b.
K _t	3,4 %	Ca _t	2,3 %
Na _t	3,5 %	Mg _t	6,2 %

6.2.2. Profil Puebla

Tab. 3: Das Verhältnis F der Summe der Quadrate zwischen den Horizonten zur Summe der Quadrate innerhalb der Horizonte und die Streuung innerhalb der Horizonte (Geländestreue und Analysenfehler), ausgedrückt als Variabilitätskoeffizient V (%) (ohne Deckschicht und das Probenpaar 101/112).

	F	V(%)		F	V(%)
S	5,52 x	8,2	Fe _o	5,13 x	16,2
U	43,18 xxx	6,9	Fe _d	55,06 xxx	5,2
T	23,14 xxx	10,9	Fe _t	20,14 xx	3,0
Al _d	24,88 xxx	6,6	Si _{H2O}	4,28 (F _{5%} =4,39)	3,2
Al _{OH}	17,87 xx	8,6	Si _{OH}	28,70 xxx	4,8
Al _t	67,43 xxx	1,1	Si _t	10,68 xx	2,6
Mn _d	6,50 x	11,8	Ti _t	18,95 xx	2,5
Mn _t	12,61 xx	6,9			

Tab. 4: Reaktion auf den Allophantest

Deckschicht	sehr schwach
IV A _h	deutlich
IV A _h B _t	mittel
IV B _t	schwach
IV B _t ,vG _o	sehr schwach

Profil Puebla

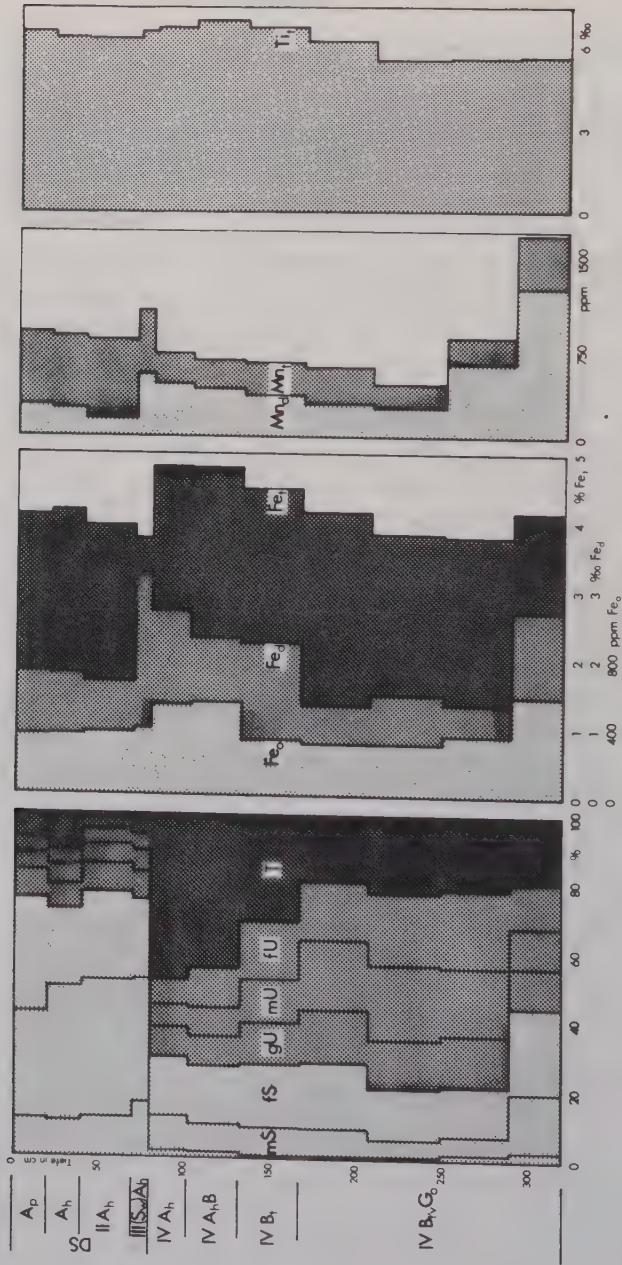
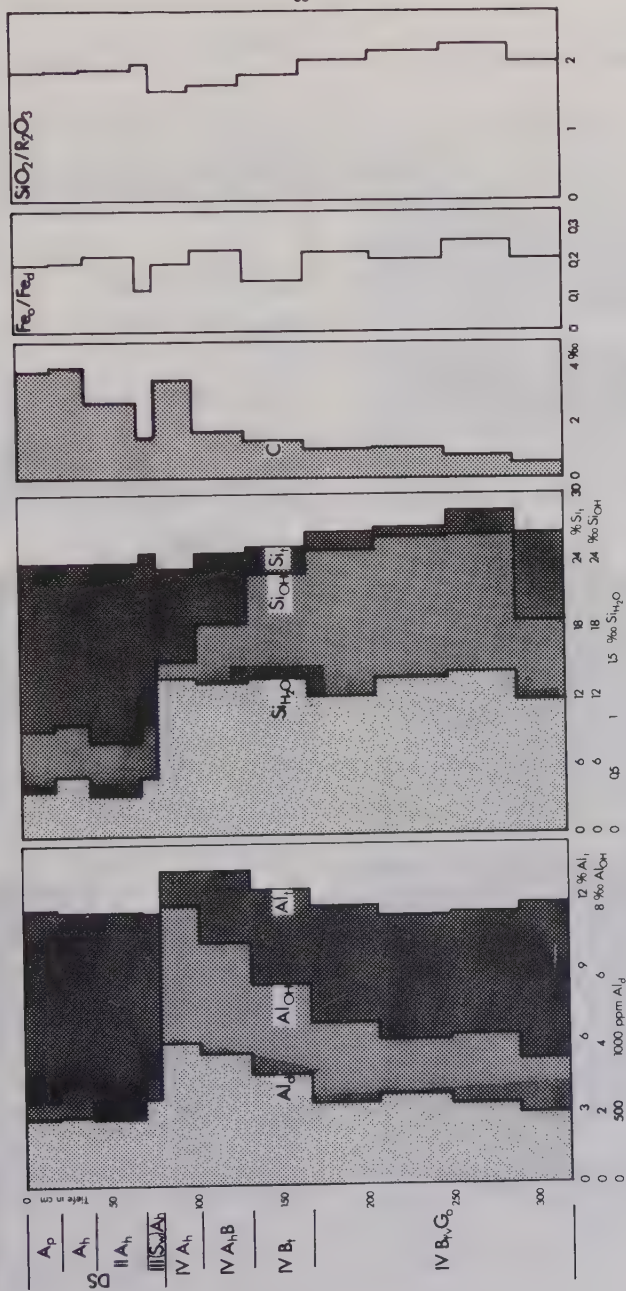


Abb. 10

Profil Puebla



6.2.3. Profil Hueyotlipan

Tab. 5: Das Verhältnis F der Summe der Quadrate zwischen den Horizonten zur Summe der Quadrate innerhalb der Horizonte und die Streuung innerhalb der Horizonte (Geländestreue und Analysenfehler), ausgedrückt als Variabilitätskoeffizient V (%) (ohne Deckschicht)

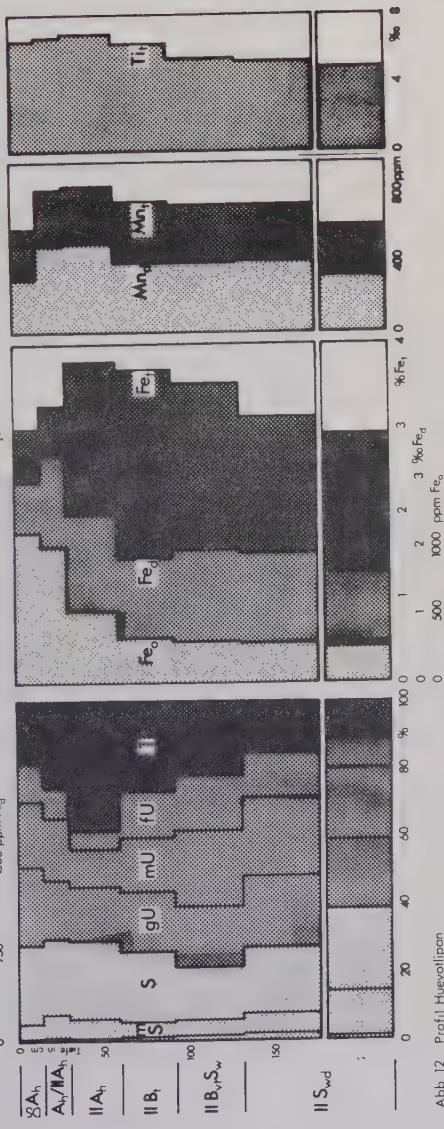
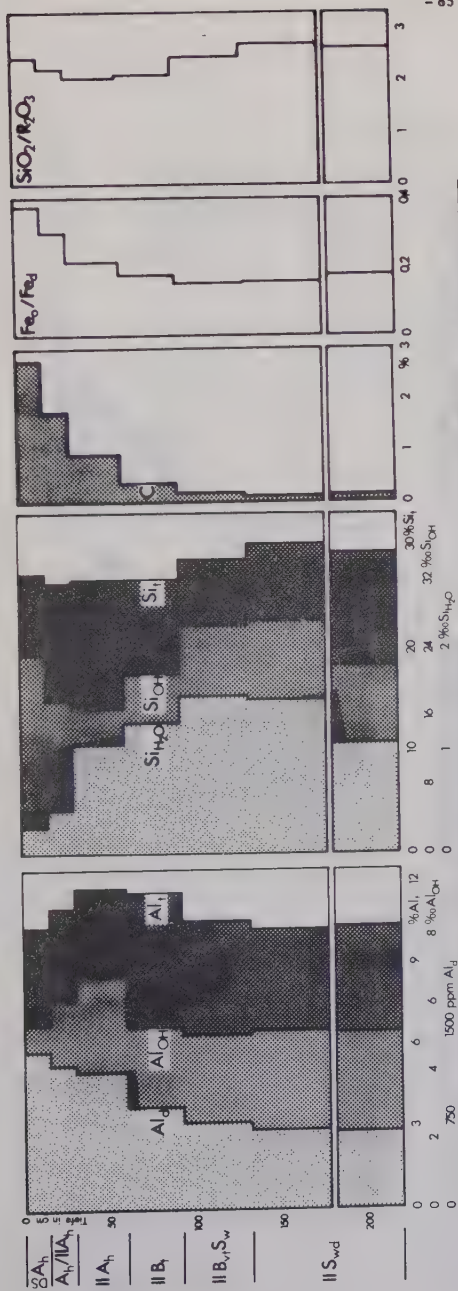
	F	V(%)		F	V(%)
S	10,03 xx	7,9	Fe _O	442,86 xxx	3,8
U	20,53 xx	5,4	Fe _d	22,50 xxx	7,9
T	14,59 xx	14,2	Fe _t	5,39 x	5,6
Al _d	12,38 xx	9,6	Si _{H₂O}	30,32 xxx	8,1
Al _{OH}	3,94 (F _{5%} =4,39)	7,7	Si _{OH}	13,17 xx	6,9
Al _t	7,90 x	2,7	Si _t	9,96 xx	2,4
Mn _d	3,91 (F _{5%} =4,39)	10,7	Ti _t	1,66 (F _{5%} =4,39)	13,9
Mn _t	1,79 (F _{5%} =4,39)	10,7			

Tab. 6: Zerfallsverhalten des Tepetate

Die Strukturprobe zerfällt in HCl:	kaum
H ₂ O:	kaum
NaOH:	vollständig

Tab. 7: Reaktion auf den Allophantest

Deckschicht	keine
II A _n	schwach
II B _t	mittel
II B _{vt} S _w	deutlich
II S _{wd}	deutlich



6.2.4. Profil Xaltocan

Tab. 8: Zerfallsverhalten des Tepetate

Die Strukturprobe zerfällt in HCl:	vollständig
H ₂ O:	vollständig
NaOH:	vollständig

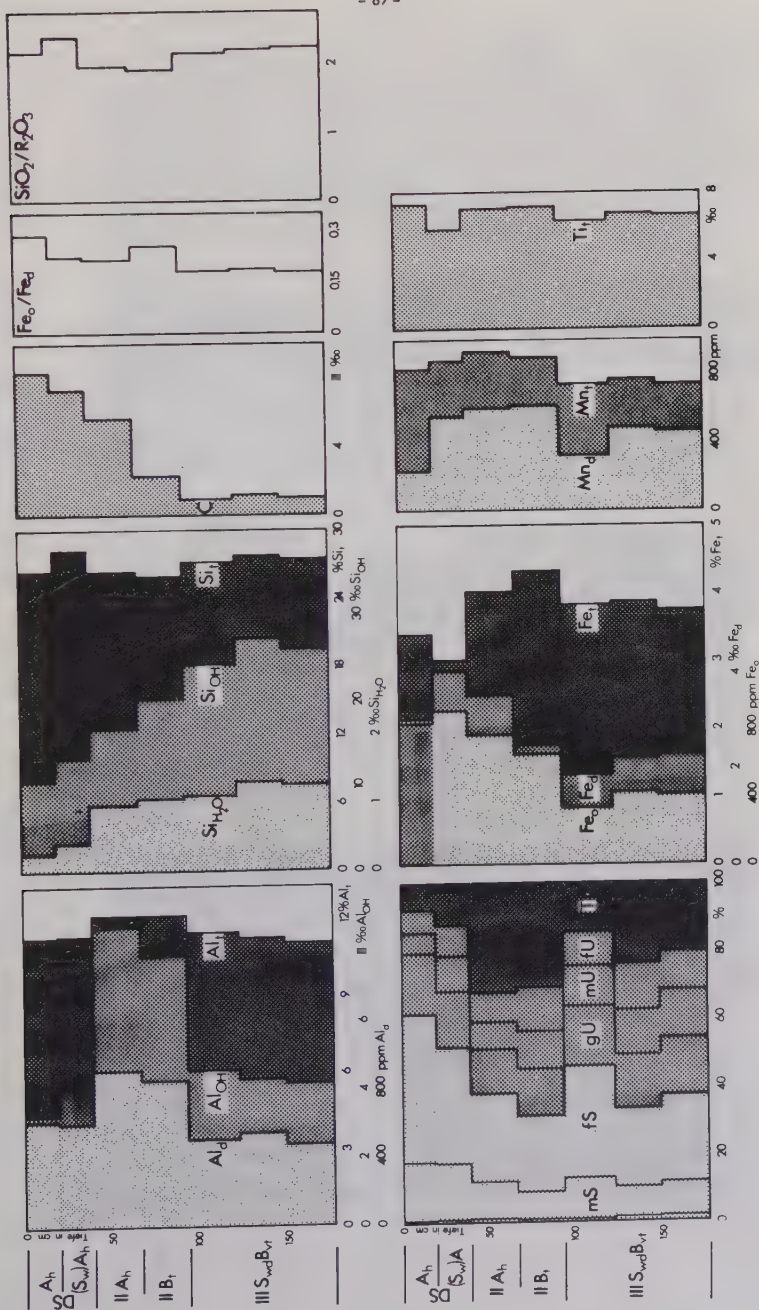


Abb. 13 of J. Xatocan

6.2.5. Profil Metepec

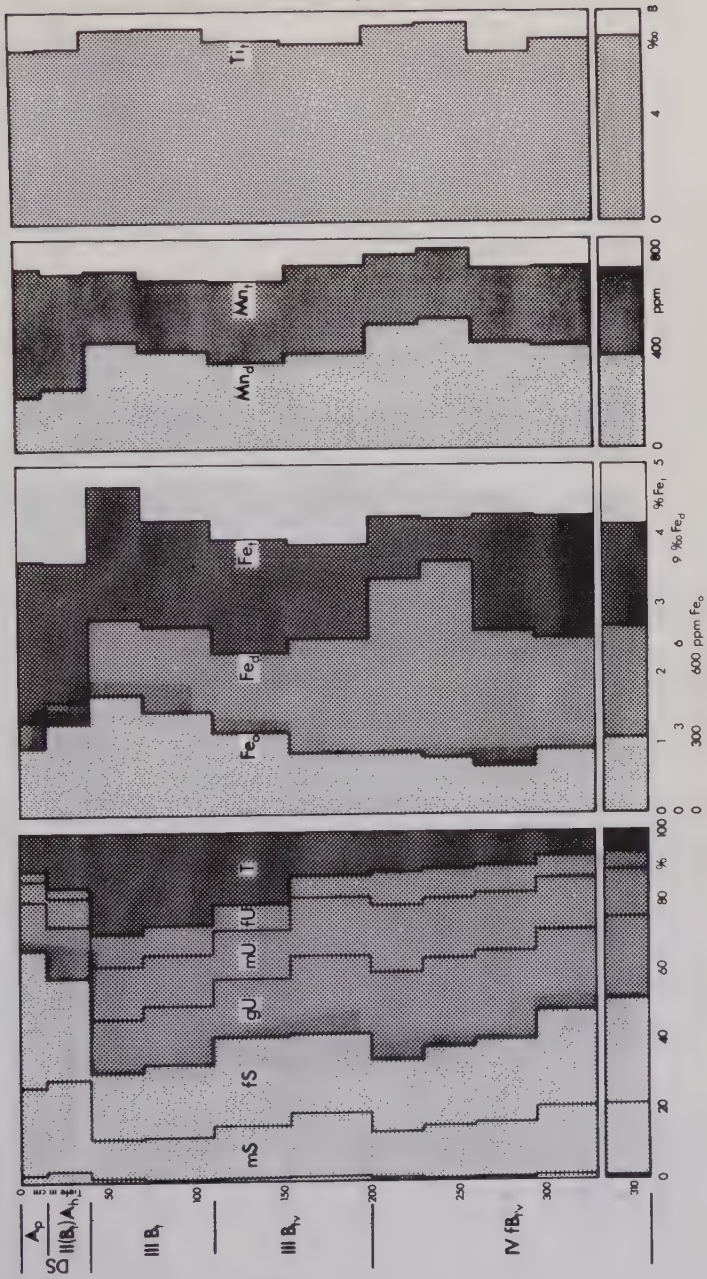
Tab. 9: Zerfallsverhalten des Tepetate

Die Strukturprobe zerfällt in HCl: nicht
H₂O: kaum
NaOH: vollständig

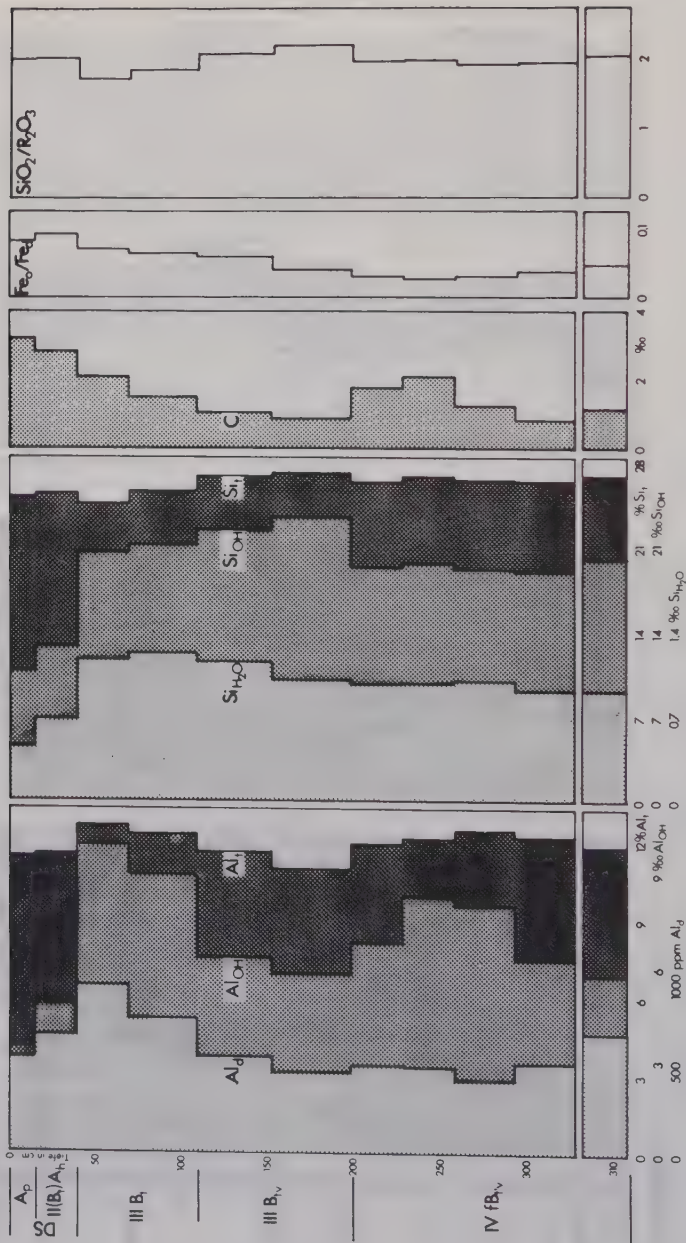
Tab. 10: Reaktion auf den Allophantest

Deckschicht	schwach
III B _t	schwach
III B _t v	sehr schwach
IV fB _t 'v	keine

Profil Metepec



Profil Metepec



6.2.6. Profil San Jerónimo

6.2.6.1. Schicht 1

Tab. 11: Zerfallsverhalten des Tepetate

Strukturproben aus dem	II B _{tv} (Nr.158a)	II B _{tv} S _w (Nr.157a)
zerfallen in HCl:	kaum	vollständig
H ₂ O:	vollständig	vollständig
NaOH:	vollständig	vollständig

Tab. 12: Reaktion auf den Allophantest

B _t S _w	sehr schwach
II B _{t1}	keine
II B _{t2}	keine
II B _{tv}	keine
II B _{tv} S _w	keine
III B _t S _d	schwach

Profil San Jerónimo

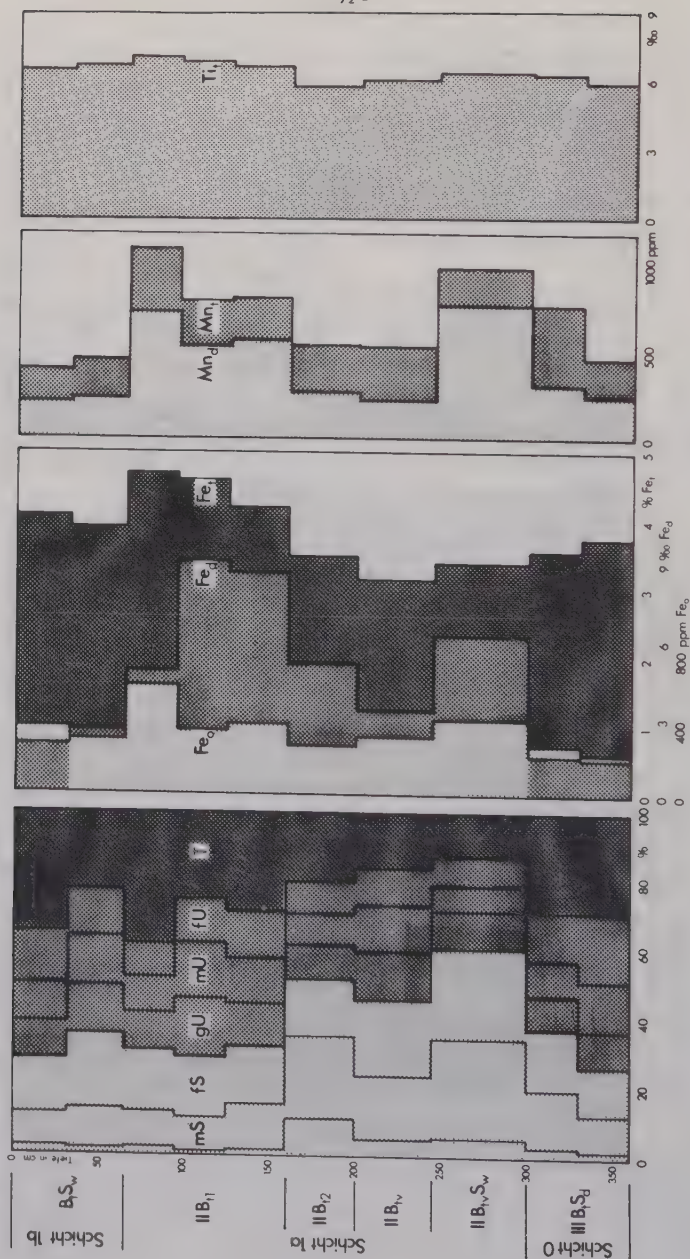
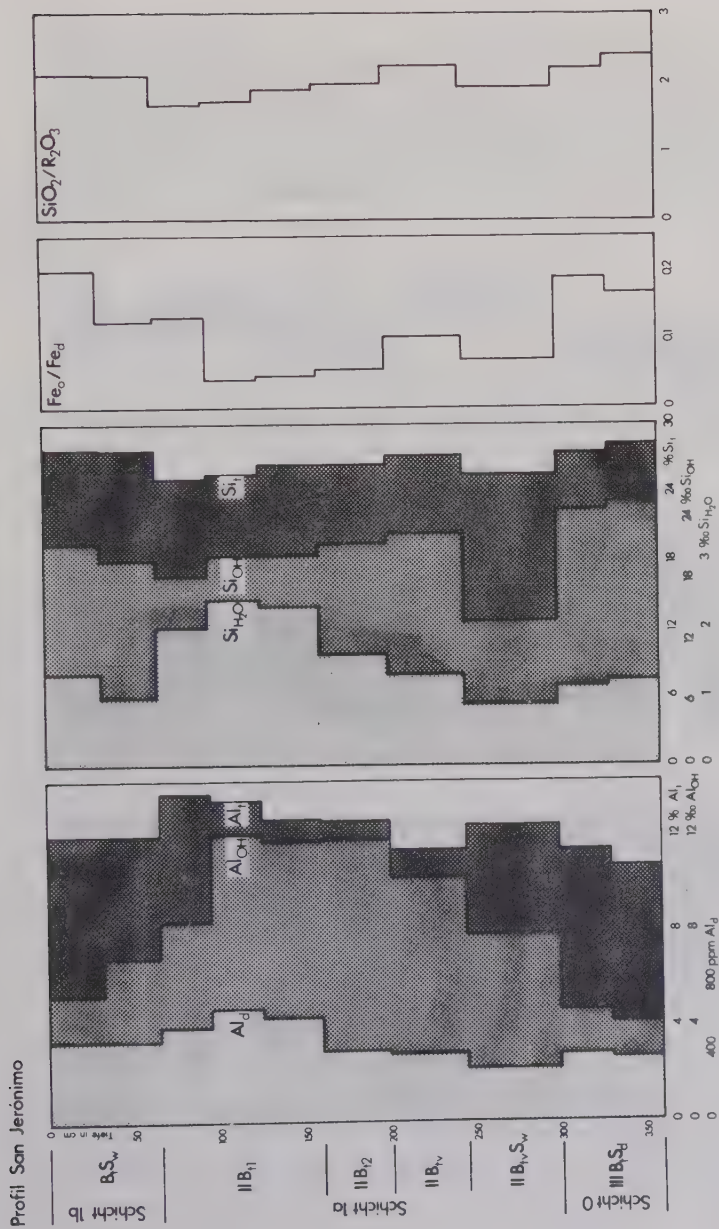


Abb. 16



Ab 17

6.2.6.2. Schichten 2 und 3

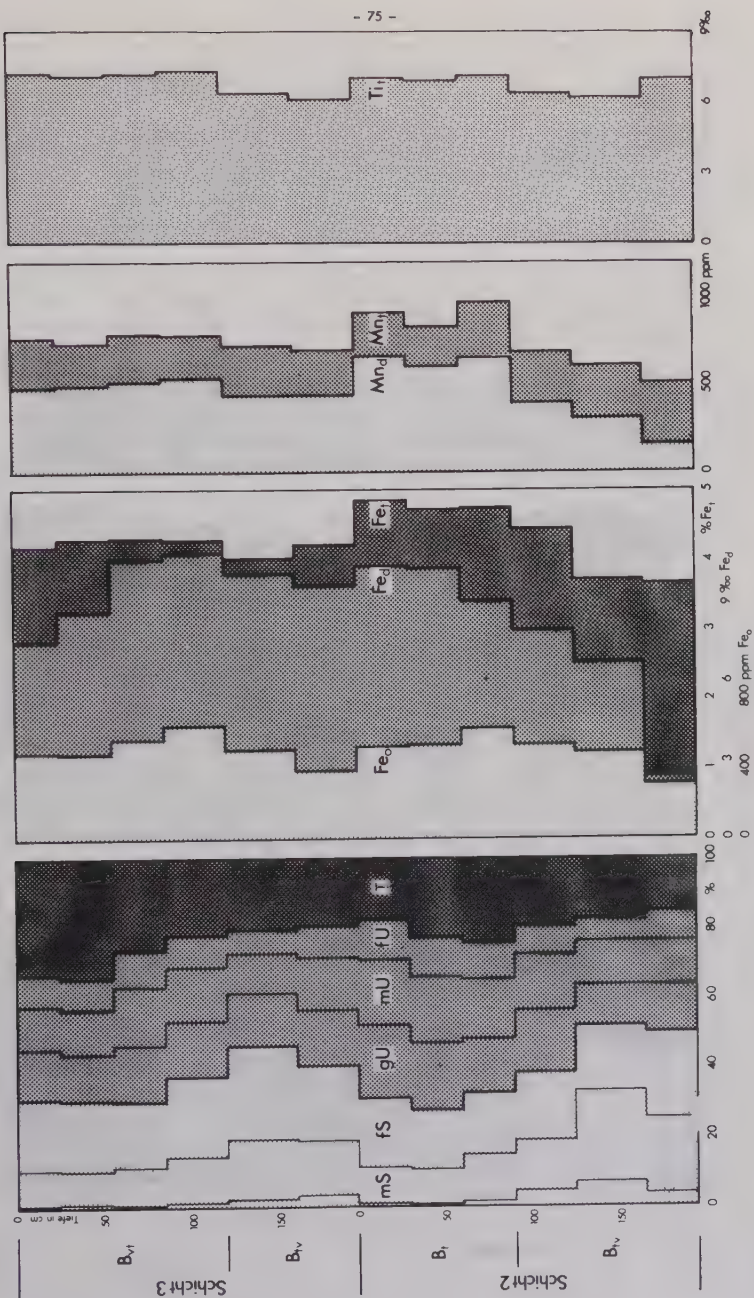
Tab. 13: Zerfallsverhalten des Tepetate in Schicht 2

Strukturproben aus dem	B _{tv} (Mitte) (Nr.166)	B _{tv} (unten) (Nr.165)
zerfallen in HCl: ~	nicht	vollständig
H ₂ O:	kaum	vollständig
NaOH:	vollständig	vollständig

Tab. 14: Reaktion auf Allophantest

In allen Horizonten der Schichten 2 und 3
ist eine Reaktion nicht nachweisbar.

Profil San Jerónimo



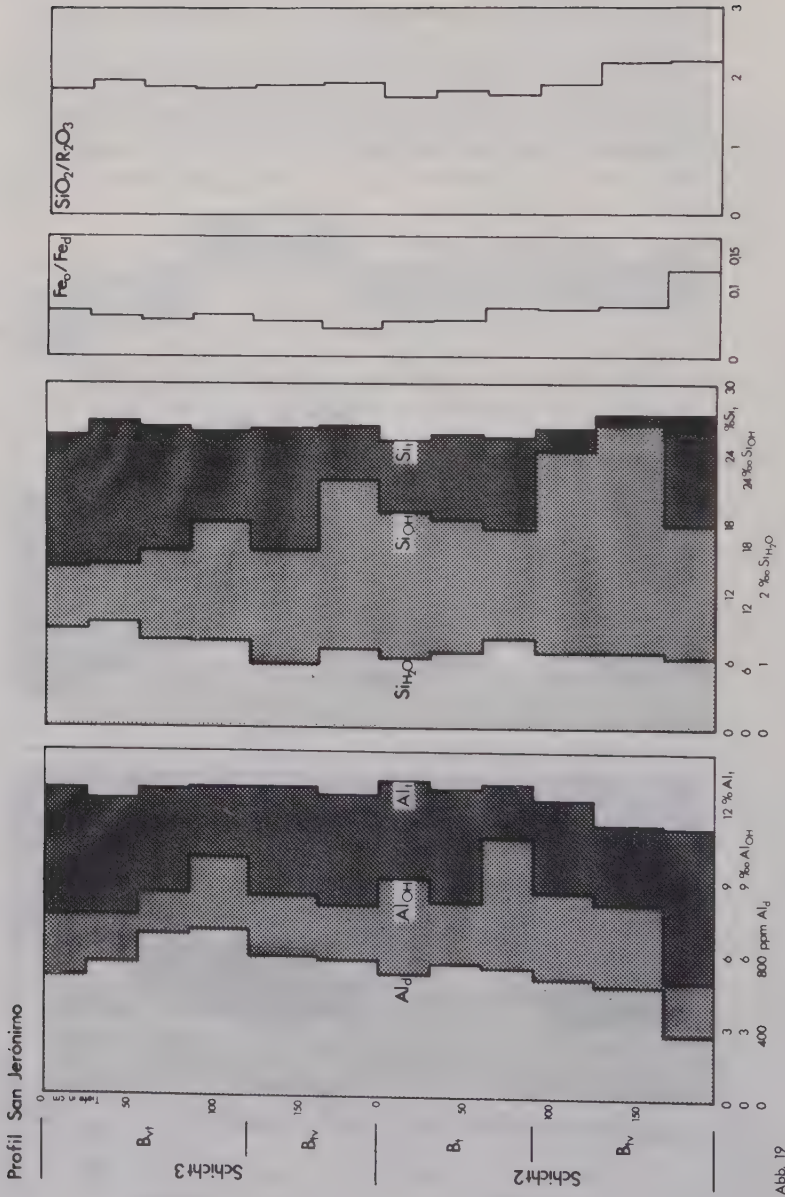


Abb. 19

6.2.6.3. Schichten 4, P, 5 und 6

Tab. 15: Das Verhältnis F der Summe der Quadrate zwischen den Horizonten zur Summe der Quadrate innerhalb der Horizontzone und die Streuung innerhalb der Horizontzone (Geländestreuung und Analysenfehler), ausgedrückt als Variabilitätskoeffizient V (%), in Schicht 5 (ohne den Horizont B_{tv2})

	F	V(%)		F	V(%)
S	25,16 xxx	3,3	Fe _O	0,27 (F _{5%} =5,19)	16,8
U	9,26 x	2,3	Fe _d	8,10 x	2,7
T	8,95 x	7,8	Fe _t	3,10 (F _{5%} =5,19)	2,0
Al _d	10,49 x	3,6	Si _{H2O}	7,20 x	5,4
Al _{OH}	124,23 xxx	2,4	Si _{OH}	17,75 xx	3,2
Al _t	15,15 xx	1,1	Si _t	0,35 (F _{5%} =5,19)	5,8
Mn _d	3,57 (F _{5%} =5,19)	8,8	Ti _t	1,37 (F _{5%} =5,19)	8,7
Mn _t	1,01 (F _{5%} =5,19)	7,9			

Tab. 16: Das Verhältnis F der Summe der Quadrate zwischen den Horizonten zur Summe der Quadrate innerhalb der Horizontzone und die Streuung innerhalb der Horizontzone (Geländestreuung und Analysenfehler), ausgedrückt als Variabilitätskoeffizient V (%), in Schicht 6 (ohne Deckschicht)

	F	V(%)		F	V(%)
S	24,19 xxx	8,0	Fe _O	35,50 xxx	13,4
U	2,70 (F _{5%} =3,44)	11,0	Fe _d	19,39 xxx	11,4
T	16,76 xxx	12,1	Fe _t	20,80 xxx	4,6
Al _d	37,43 xxx	6,1	Si _{H2O}	6,38 xx	14,8
Al _{OH}	34,48 xxx	5,1	Si _{OH}	28,96 xxx	3,7
Al _t	1,58 (F _{5%} =3,44)	6,9	Si _t	5,14 x	3,1
Mn _d	35,35 xxx	8,0	Ti _t	7,89 xx	8,4
Mn _t	18,07 xxx	6,1			

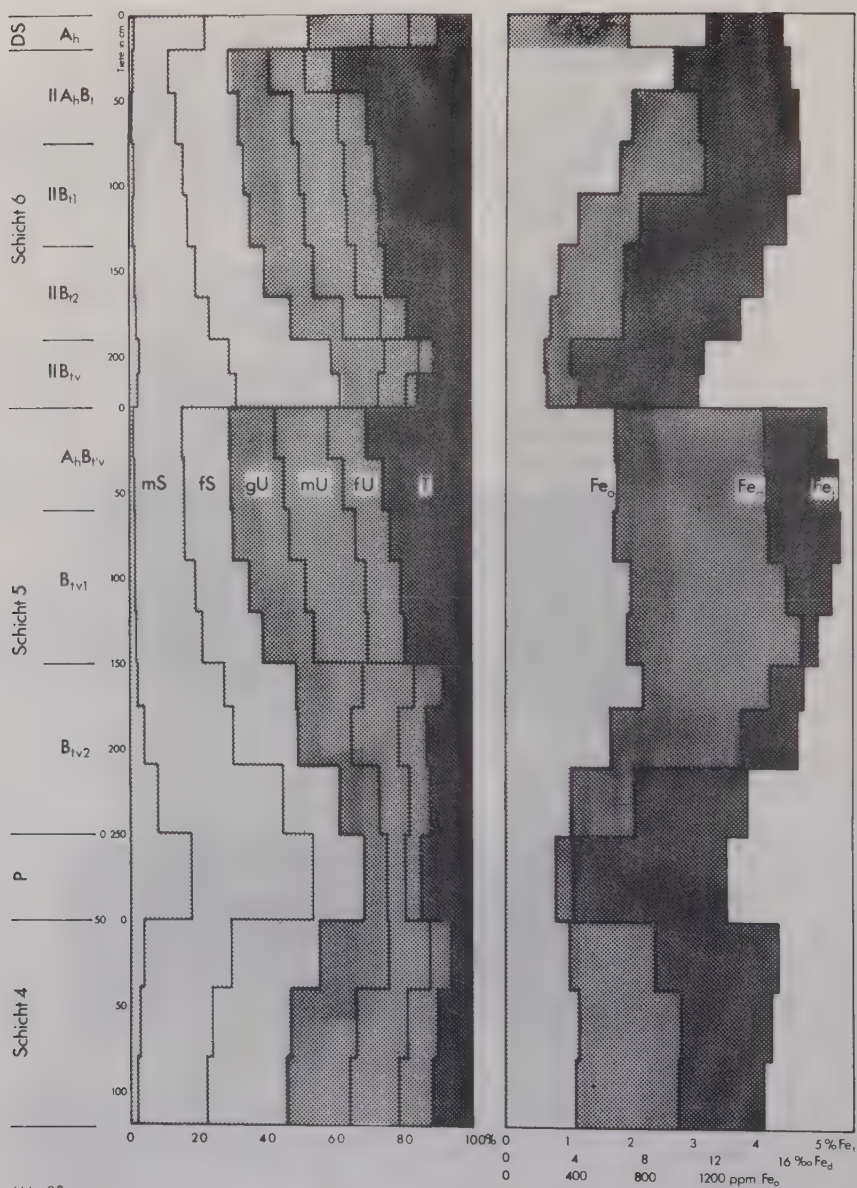


Abb. 20

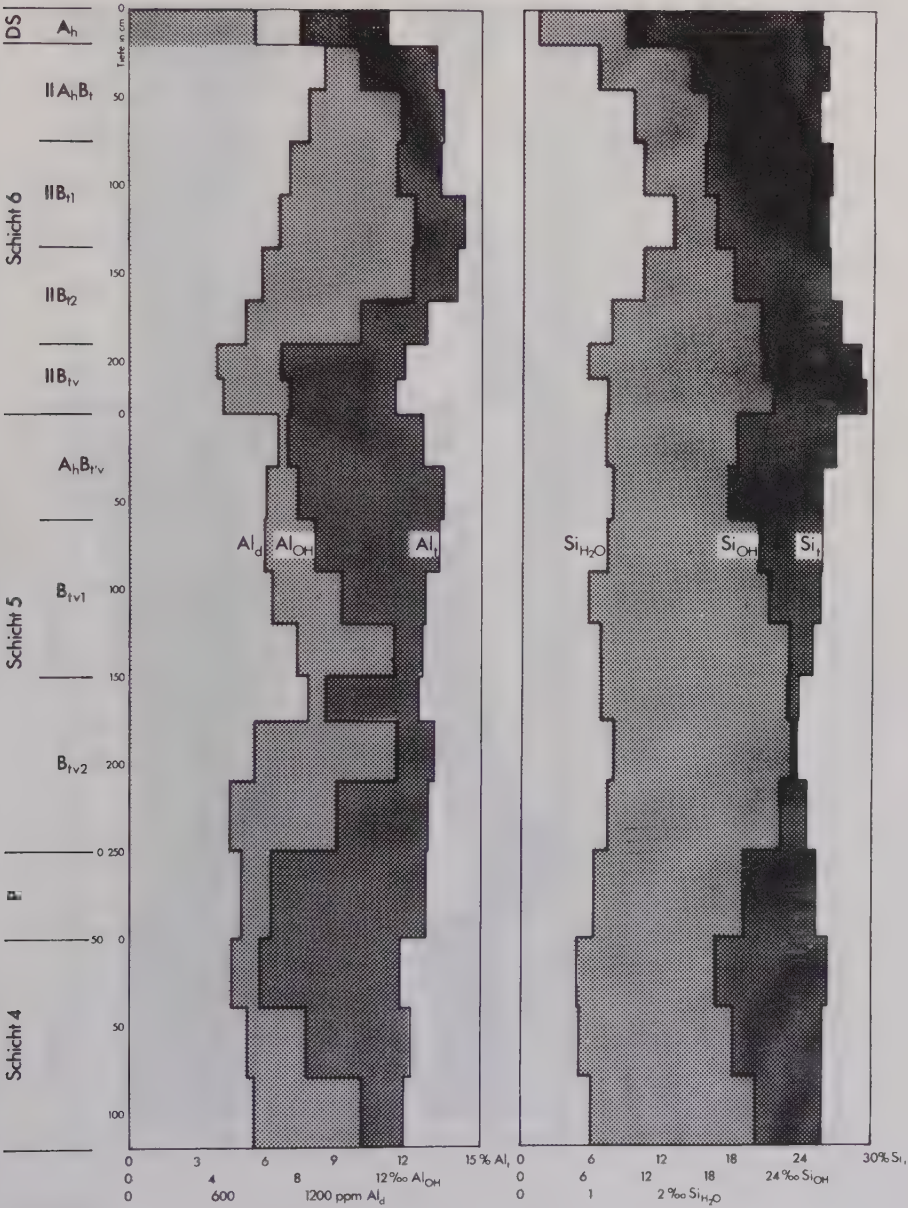


Abb. 21

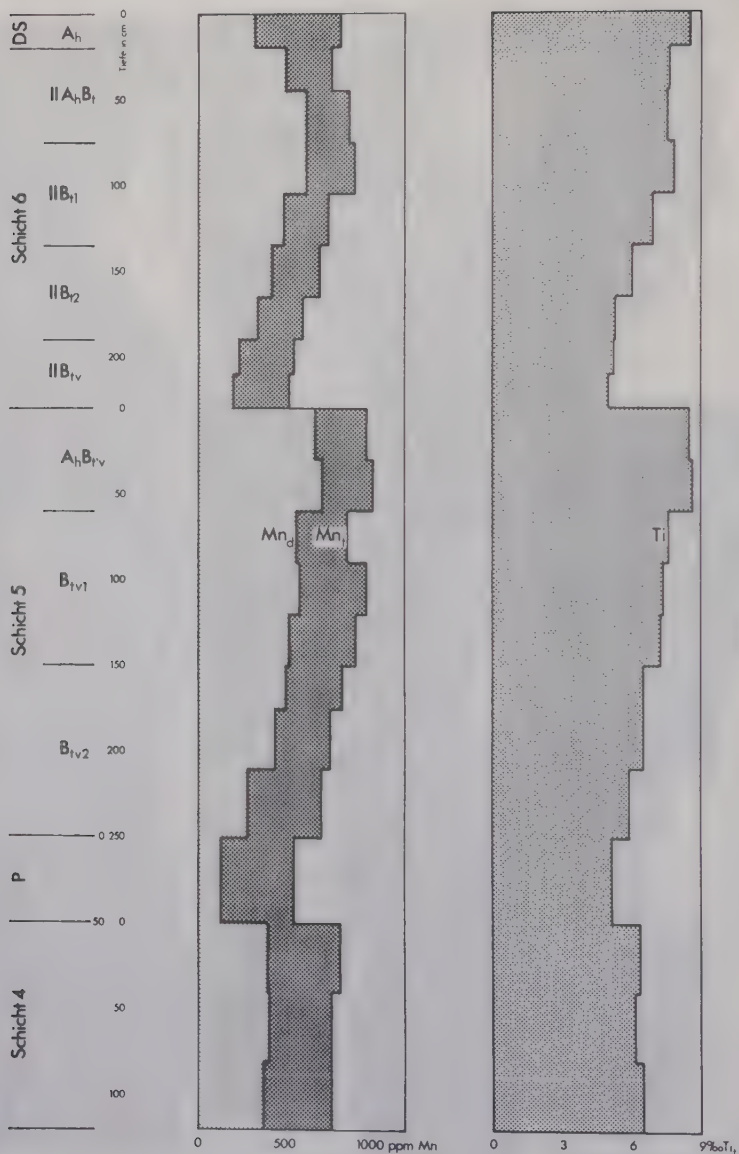


Abb. 22

Profil San Jerónimo

- 81 -

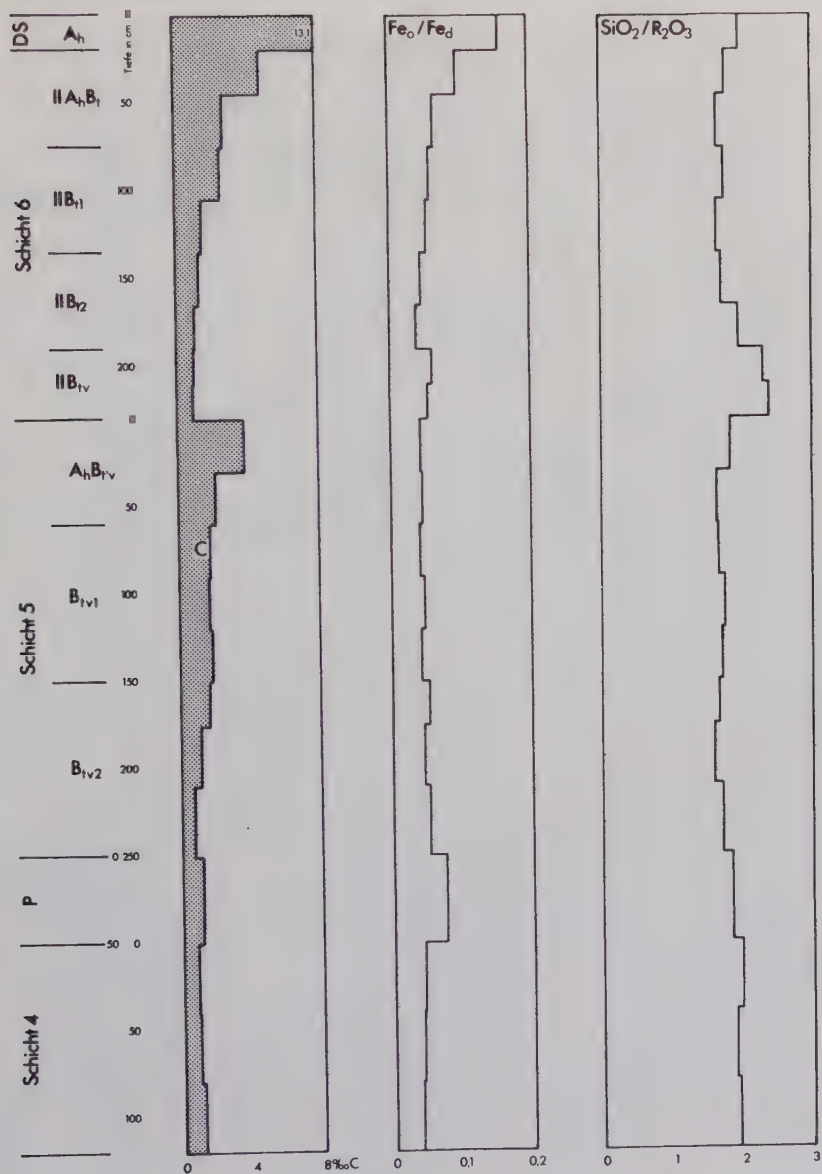


Abb. 23

Tab. 17: Zerfallsverhalten des Tepetate

Strukturproben des Tepetate in	Schicht 4	Schicht 5	Schicht 6
zerfallen in HCl:	nicht	nicht	kaum
H ₂ O:	kaum	nicht	etwas
NaOH:	teilweise	teilweise	vollständig

Tab. 18: Reaktion auf den Allophantest

In allen Horizonten der Schichten 4, P und 5
ist eine Reaktion nicht nachweisbar

Deckschicht	sehr schwach
Schicht 6: II A _n B _t	deutlich
II B _{t1}	mittel
II B _{t2}	schwach
II B _{tv}	sehr schwach

6.2.6.4. Schichten 5, 6a und 6b

Tab. 19: Zerfallsverhalten des Tepetate in Schicht 6a

Die Strukturprobe zerfällt in HCl:	vollständig
H ₂ O:	vollständig
NaOH:	vollständig

Profil San Jerónimo

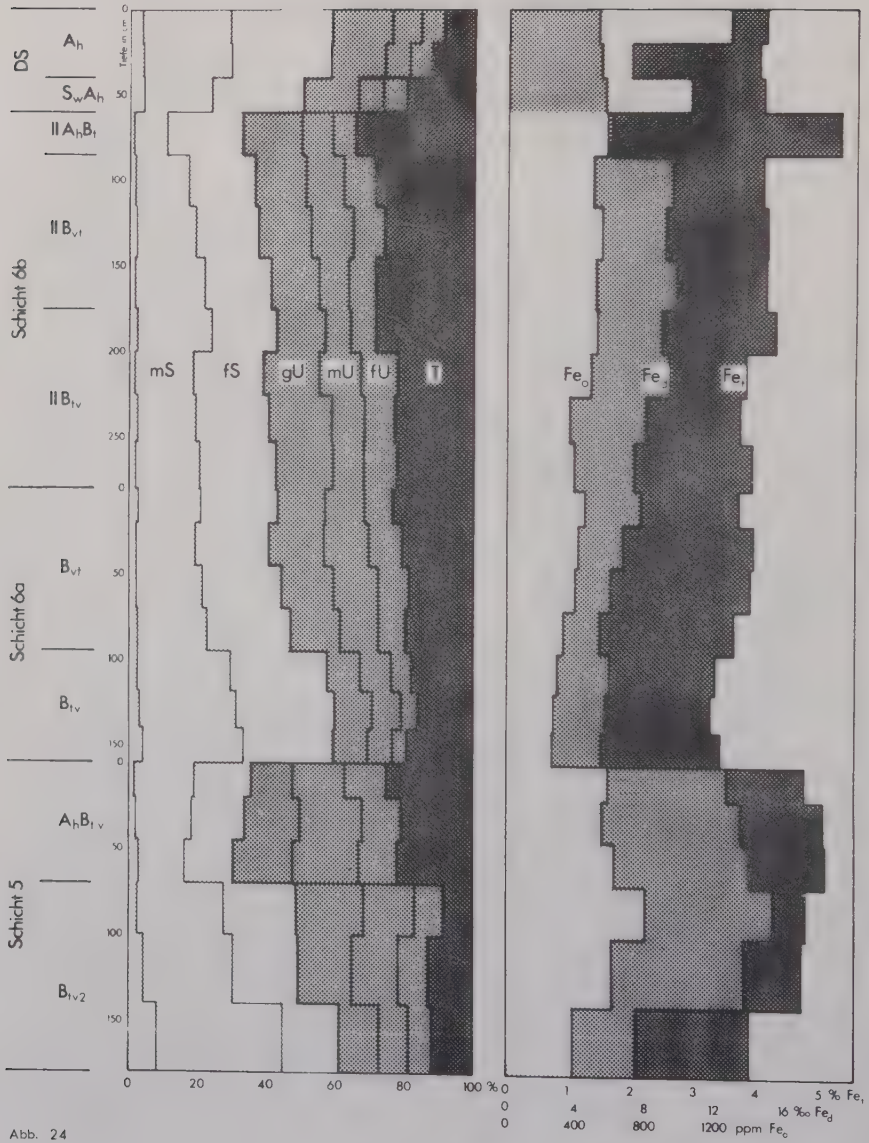


Abb. 24

Profil San Jerónimo

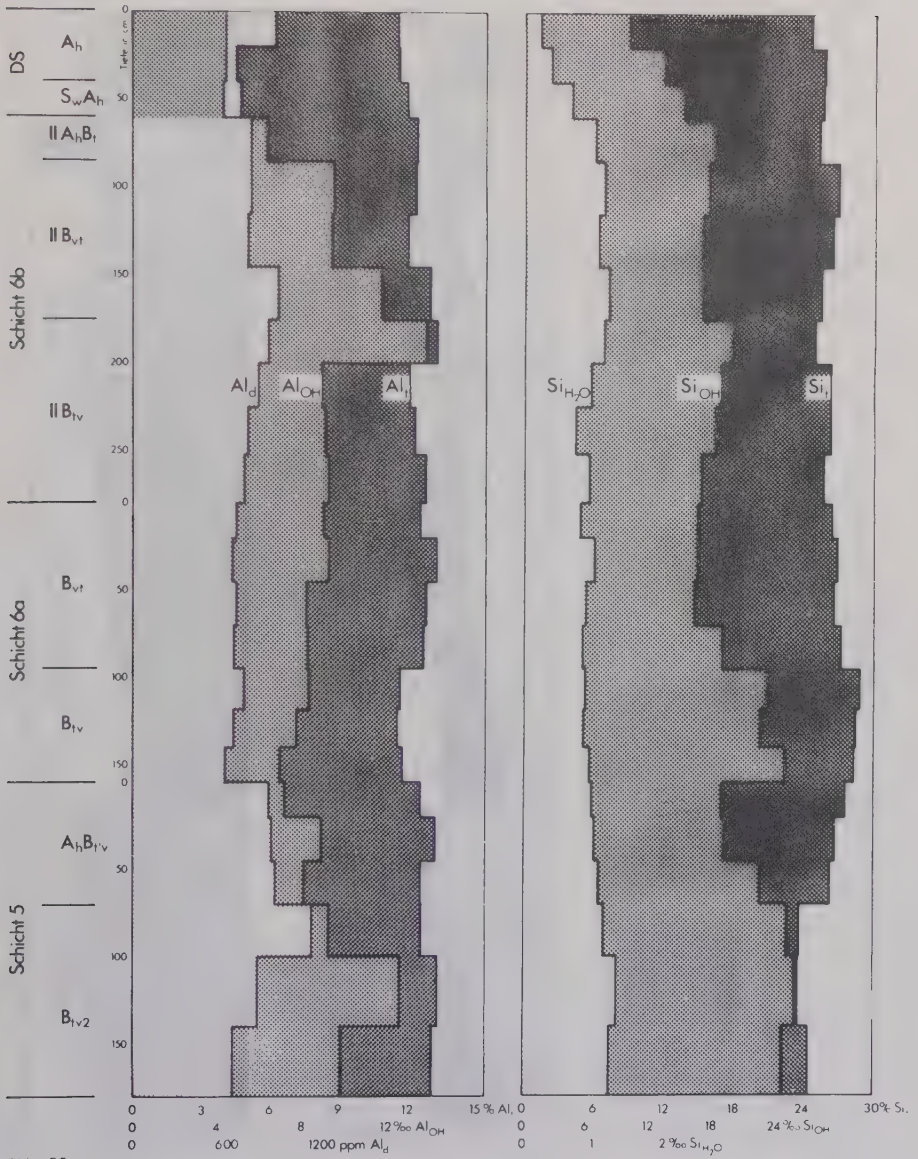


Abb. 25

Profil San Jerónimo

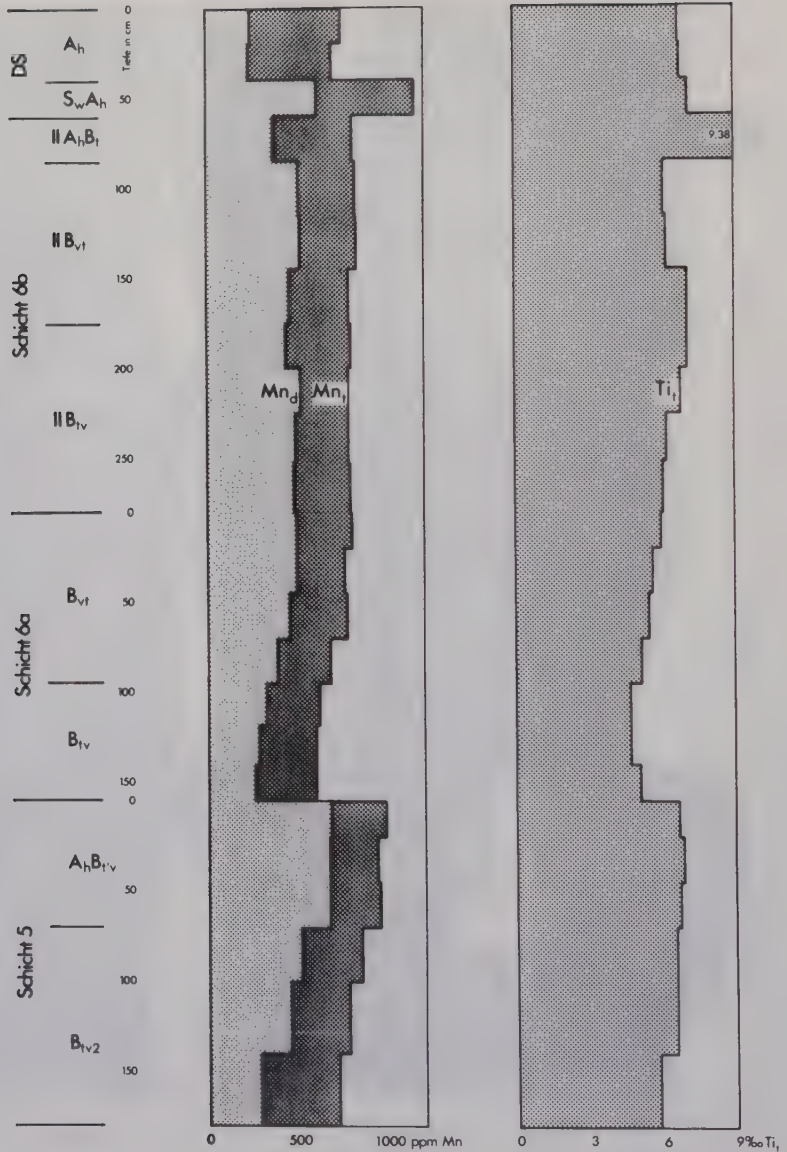


Abb. 26

Profil San Jerónimo

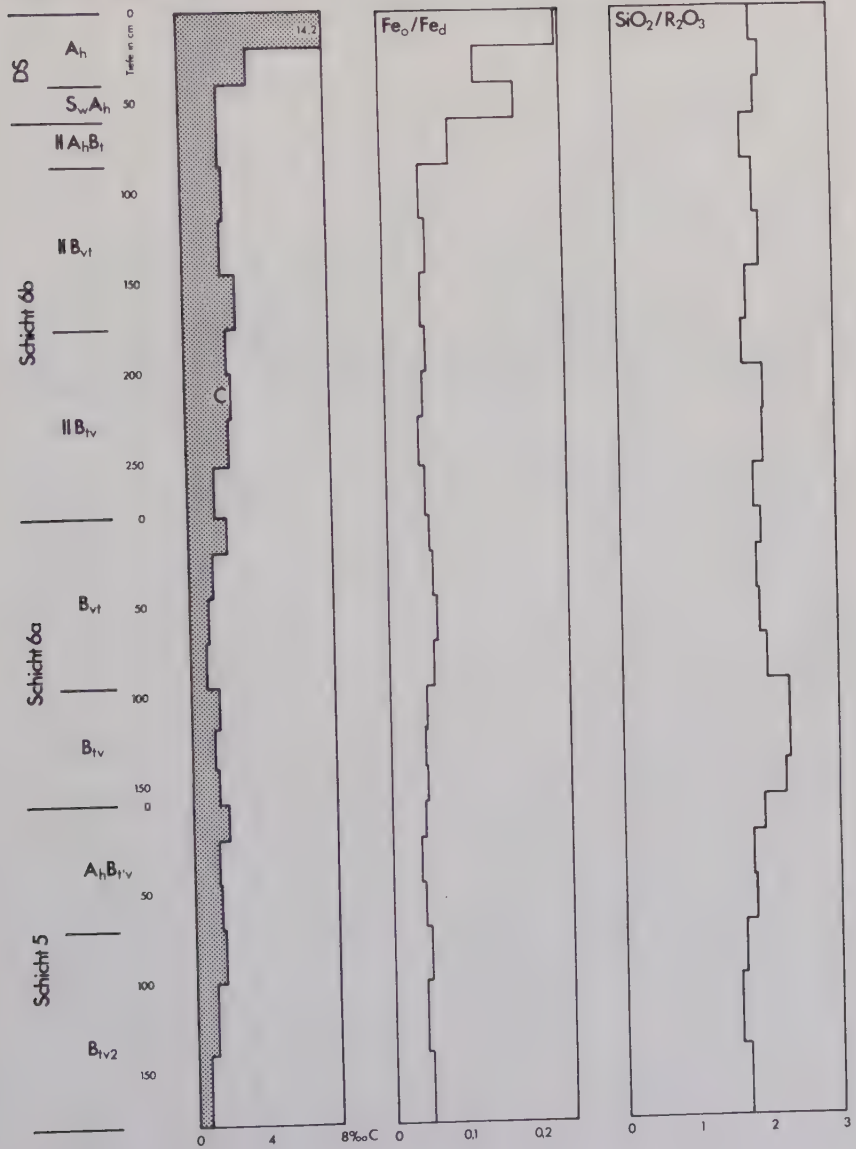


Abb. 27

6.2.7. Röntgenbeugungsaufnahmen

Legende zu den Abb. 28 bis 31:

- A Ca-belegt
- B Ca-belegt + Glyzerinzugabe
- C K-belegt
- D K-belegt, anschliessend erhitzt auf 80°C
- E K-belegt, anschliessend Glyzerinzugabe
- F Ca-belegt, anschliessend mit DMSO behandelt
- G DMSO-behandeltes Präparat, 8 mal mit H₂O gewaschen
- H Ca-belegt, Allophanzerstörung mit 0,5 n NaOH

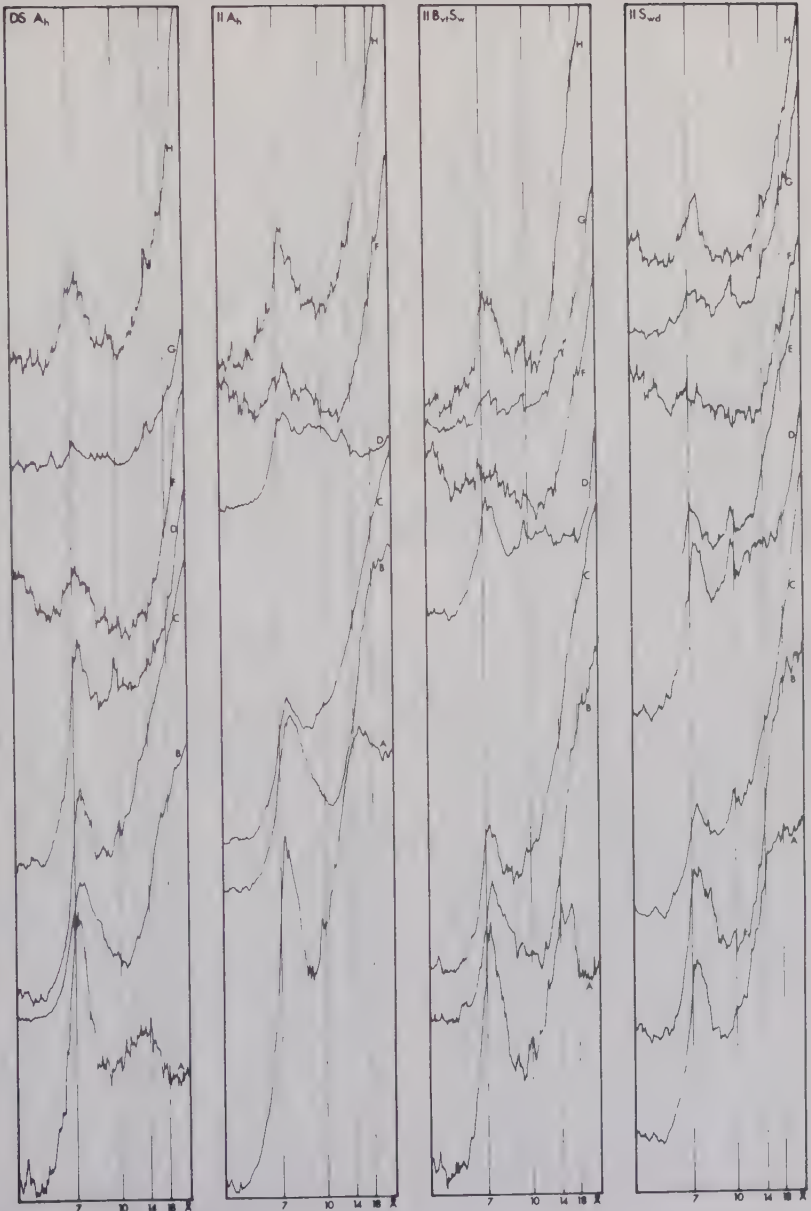


Abb. 28: Profil Hueyotlipan

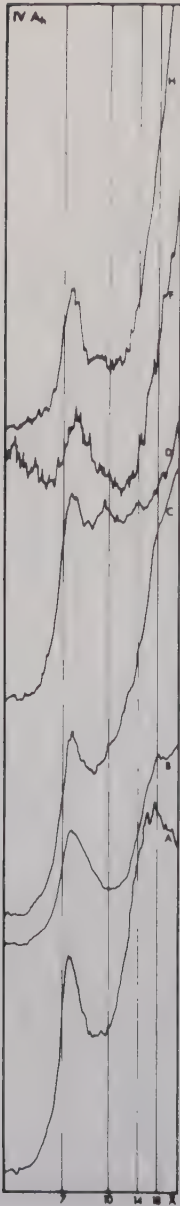


Abb. 29: Profil Puebla

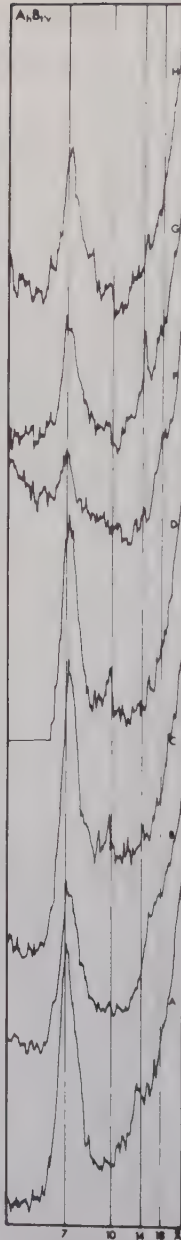
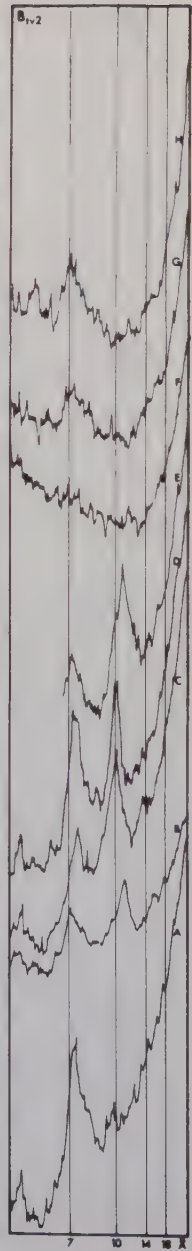
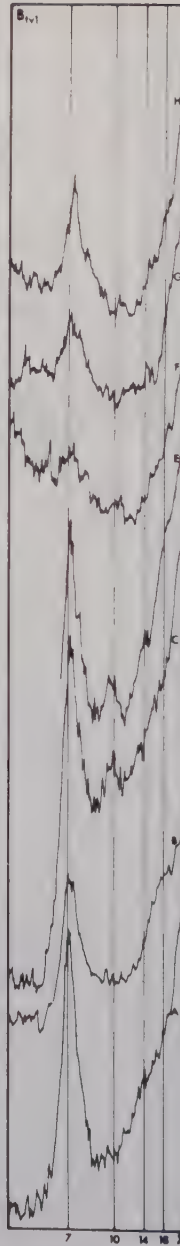


Abb. 30: Profil San Jeronimo, Schicht 5



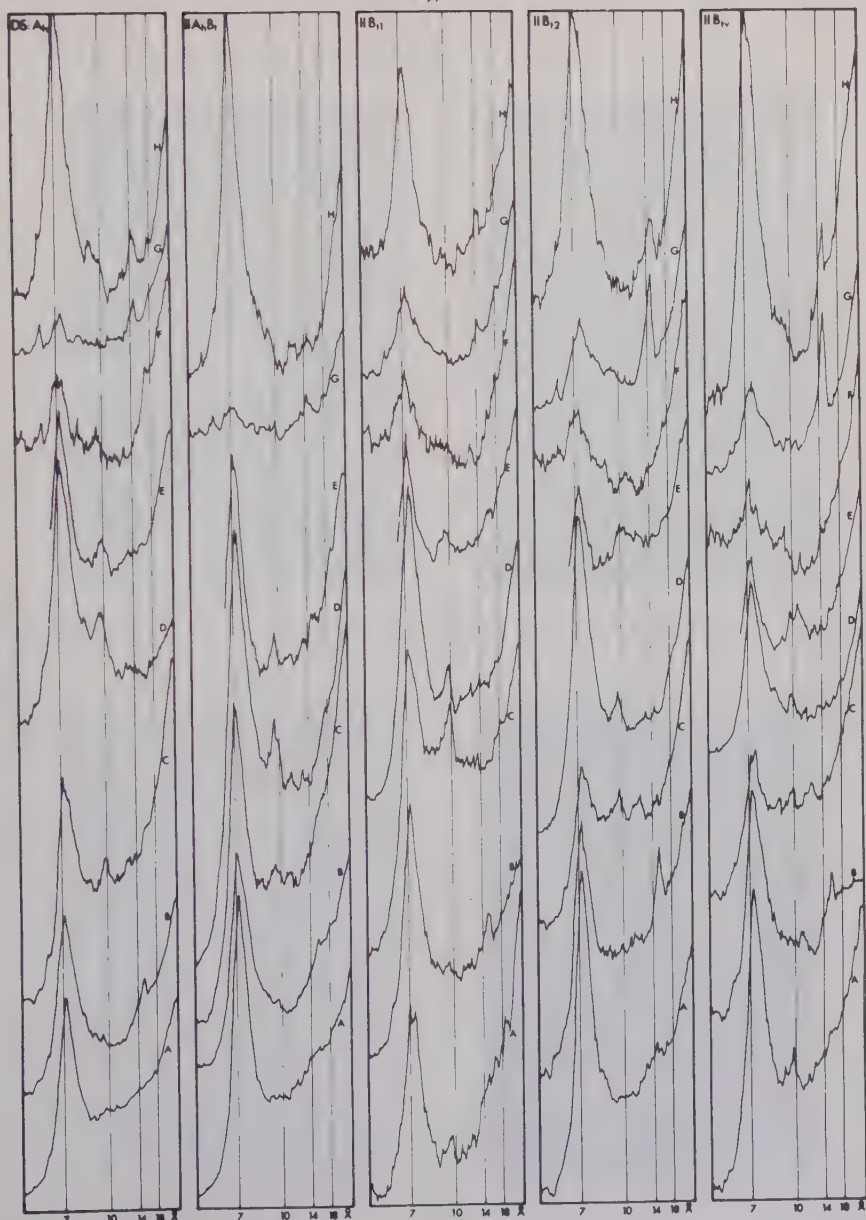


Abb. 31: Profil San Jerónimo, Schicht 6

6.2.8. Fotographien zur Mikromorphologie

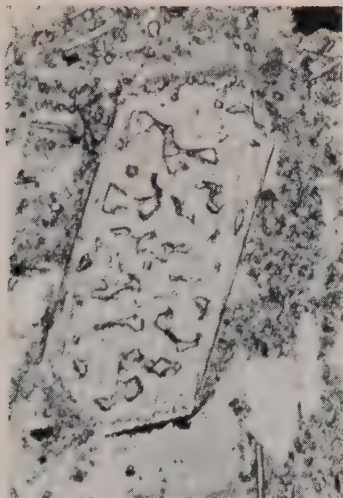


Abb.32: Profil San Jerónimo,
Schicht 5, Btv2,
64x vergr.



Abb.33: Profil San Jerónimo,
Schicht 5, Btv1,
64x vergr.

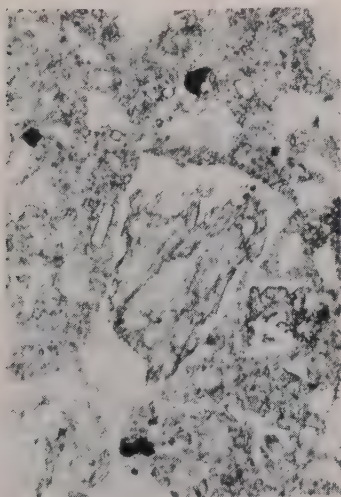


Abb.34: Profil San Jerónimo,
Schicht 5, AhBt'v,
64x vergr.

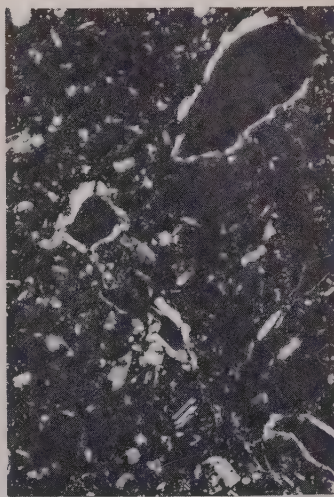


Abb.35: Profil San Jerónimo,
Schicht 5, Btv2
10x vergr., Nicols X

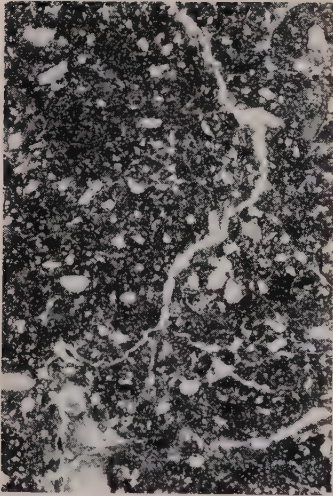


Abb.36: Profil Hueyotlipan, II Swd, 10x vergr., rechts Nicols X

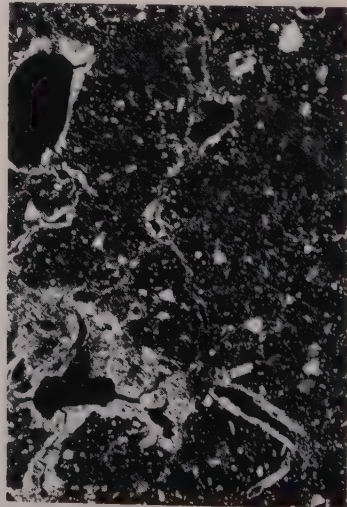
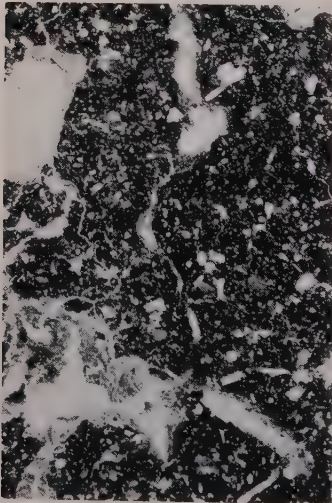


Abb.37: Profil Hueyotlipan, II BvtSw, 10x vergr., rt.Nicols x

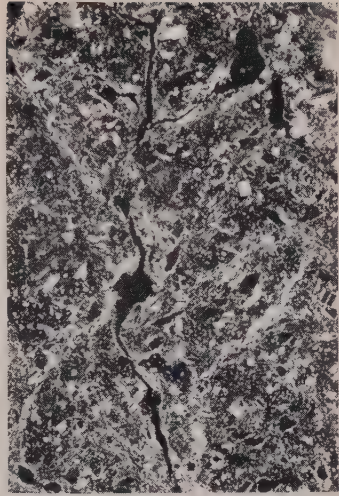
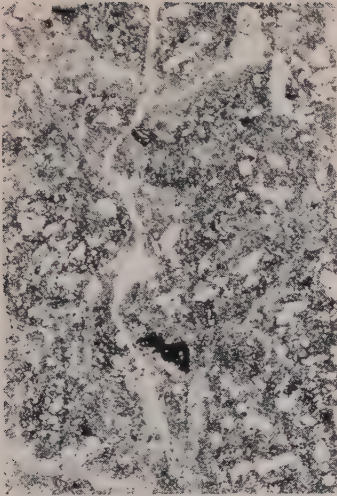


Abb.38: Profil Hueyotlipan, II Ah, 10x vergr., rechts Nicols X

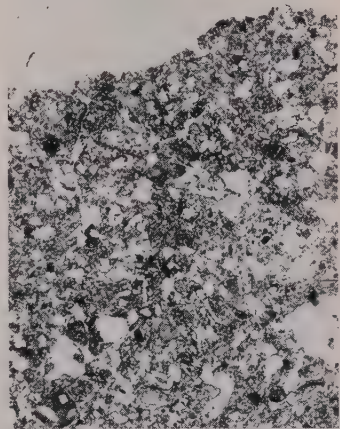
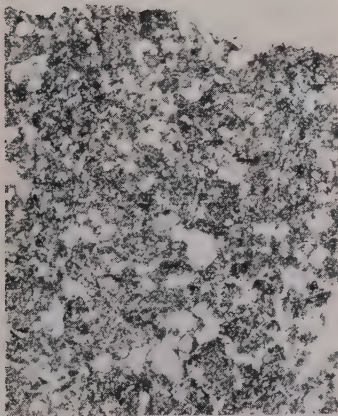


Abb.39: Profil Hueyotlipan,
Oberfläche Tepetate,
10x vergr.

Abb.40: Profil Metepec,
Oberfläche Tepetate,
10x vergr.

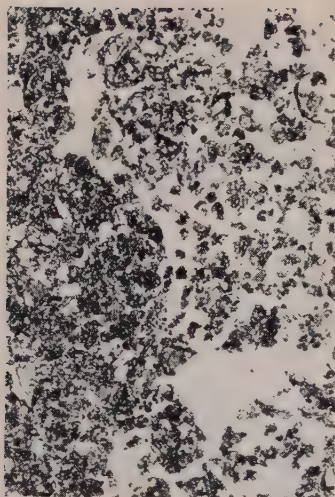


Abb.41: Profil Hueyotlipan,
Deckschicht,
10x vergr.

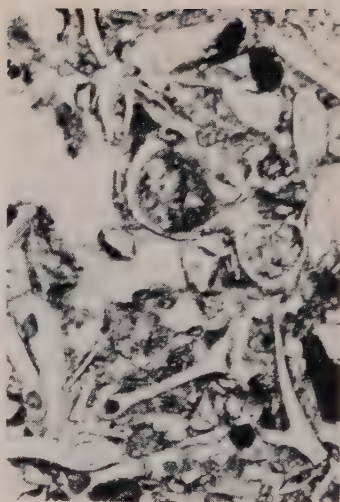


Abb.42: Profil San Jerónimo,
Schicht 6, II Btv,
32x vergr.

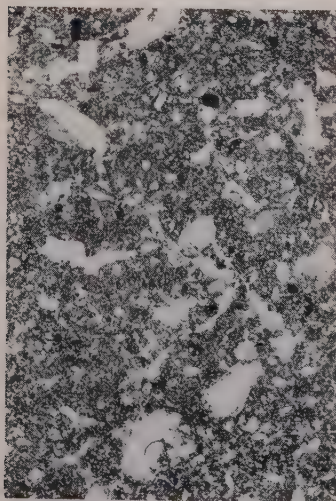


Abb.43: Profil San Jerónimo,
Schicht 5, Btv2 (Tepetate),
3,2x vergr.

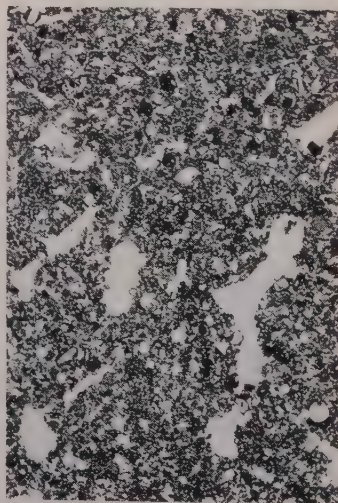


Abb.44: Profil Metepec,
IV fBt'v (Tepetate),
3,2x vergr.

7. Diskussion

Die vorliegenden Ergebnisse lassen erkennen, dass sowohl in den Barroböden als auch in den vertisolähnlichen Bildungen die gleichen bodenbildenden Prozesse abgelaufen sind. Die Diskussion der Ergebnisse wird daher in drei Abschnitten geführt. In einem ersten, allgemeinen Teil sollen die aufgrund der Laboruntersuchungen erkennbaren, für alle Böden geltenden Gesetzmässigkeiten herausgearbeitet werden. Der zweite, spezielle Teil befasst sich mit den einzelnen Profilen; dabei geht es vor allem um die Interpretation der Abweichungen und Besonderheiten. Im dritten Teil wird versucht, die Ergebnisse der Gelände- und der Laborarbeiten zusammenfassend zu diskutieren.

Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich um die erste Untersuchung über die in den Barroböden und verwandten Bildungen abgelaufenen bodenbildenden Prozesse. Im Rahmen der Diskussion tauchen daher viele Fragen auf, die aufgrund der vorliegenden Ergebnisse nicht beantwortet werden können. Insbesondere gilt dies für die tonmineralogischen und mikromorphologischen Untersuchungen, deren Resultate eine grobe Bestandsaufnahme, aber kaum genetische Folgerungen zulassen.

7.1. Diskussion I

Die in den folgenden Kapiteln herausgearbeiteten Gesetzmässigkeiten beziehen sich nur auf die Barroböden und auf die vertisolähnlichen Bildungen ohne Berücksichtigung der Deckschicht. Auf die Deckschicht selbst wird innerhalb dieses Abschnittes in einem eigenen Kapitel eingegangen.

7.1.1. Statistische Sicherung der Ergebnisse

Bei den Profilen, in denen die Entnahme der beiden Probenreihen gleichzeitig erfolgte, wurde eine Streuungszerlegung durchgeführt, um abschätzen zu können, ob die vertikale Streuung der Eigenschaften signifikant grösser ist als die horizontale Streuung, oder anders ausgedrückt, wie weit aus den vorliegenden Daten auf eine vertikale Differenzierung geschlossen werden darf. Wie aus den Tabellen im Abschnitt 6.2. hervorgeht,

ist dies fast immer der Fall; die vorliegenden Resultate dieser Profile können sogar meist als statistisch gut bis sehr gut gesichert gelten. Falls das Verhältnis F ausserhalb der Sicherungsgrenze 5 % liegt, so bedeutet dies allerdings noch nicht, dass in dem Profil keine vertikale Differenzierung vorhanden ist; es kann in einem solchen Fall nur ausgesagt werden, dass die angewandten Methoden zu grob waren, um möglicherweise vorhandene Unterschiede statistisch gesichert zu erfassen.

Der Variabilitätskoeffizient innerhalb der Horizonte umfasst neben der Geländestreuung auch den Analysenfehler; theoretisch müsste dieser Wert daher immer grösser sein als der Variabilitätskoeffizient des Analysenfehlers. Dies trifft in einigen Fällen nicht zu, der Grund liegt darin, dass ein einzelnes Profil eine relativ kleine Stichprobe darstellt und damit grössere zufällige Abweichungen von der Grundgesamtheit vorkommen können. Generell lässt sich aber feststellen, dass der Variabilitätskoeffizient der Geländestreuung den der Fehlerstreuung beträchtlich übersteigt. Der eingeschlagene Weg, im Gelände Proben mit Parallelen zu entnehmen und dafür auf eine doppelte Durchführung der Analysen zu verzichten, erwies sich damit als sinnvoll.

7.1.2. "Homogenität" des Ausgangsmaterials

Die angewandten Methoden der statistischen Sicherung gestatten nur die Aussage, dass in den untersuchten Profilen eine vertikale Differenzierung mit hoher Sicherheit vorhanden ist. Ob aber eine statistisch gesicherte vertikale Differenzierung schon im Ausgangsmaterial vorhanden war oder als Folge einer Bodenbildung anzusprechen ist, bedarf zusätzlicher Ueberlegungen.

Bei den meisten der untersuchten Böden sind innerhalb des Profils keine sprunghaften Aenderungen der Korngrössenzusammensetzung und der anderen Kennwerte vorhanden, aus denen auf grössere Inhomogenitäten des Ausgangsmaterials geschlossen werden müsste. Bei Pyroklastika ist allerdings damit zu rechnen, dass innerhalb einer Schicht auch kontinuierliche Aenderungen im Chemismus und in der Körnung vorkommen können. Dies darf aber

für die untersuchten Böden mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden, da sie meist in einem Kolluvium vulkanischer Aschen ausgebildet sind. Das Ausgangsmaterial wurde also schon vor der Bodenbildung umgelagert. Wurde dabei das möglicherweise unterschiedliche Material gut durchmischt, kann die neue Ablagerung in ihrer Zusammensetzung mehr oder weniger als homogen gelten. Hat eine solche Mischung nicht stattgefunden, müsste dies zur Ausbildung von Schichtgrenzen geführt haben, die sich in sprunghaften Änderungen der analytischen Kennwerte widerspiegeln würden.

In den untersuchten Böden treten solche sprunghaften Änderungen gegenüber den kontinuierlichen vertikalen Differenzierungen stark zurück. Substratbedingte Unterschiede sind damit so gering, dass sie von den durch die Bodenbildung verursachten Veränderungen fast vollständig überprägt werden. Das Ausgangsmaterial dieser Böden darf daher in dem Sinne als homogen betrachtet werden, als die feststellbaren vertikalen Differenzierungen fast ausschliesslich Folgen einer Bodenbildung sind.

7.1.3. Korngrößenverteilung

Alle untersuchten Böden zeigen einen mehr oder weniger kontinuierlich von unten nach oben ansteigenden Tongehalt, wobei die obersten Horizonte Gehälte von bis zu 50 %, die unteren, meist tepetatebildenden Horizonte von 10-20 % Ton aufweisen. Bei fast allen Barroböden (auch bei den fossilen) geht die Zunahme der Tongehalte parallel mit einer Abnahme der Sandfraktion, während die Schluffgehalte in etwa konstant bleiben. Die vertisolähnlichen Böden (insbesondere die Profile Puebla und Hueyotlipan) verhalten sich insofern etwas abweichend, als hier die Sandfraktion annähernd unverändert bleibt und die Zunahme des Tons fast nur auf Kosten des Schluffes erfolgt. Dieser Befund dürfte auf einen hohen Anteil relativ verwitterungs-resistenter Bestandteile in der Sandfraktion des Ausgangsmaterials der vertisolähnlichen Böden zurückzuführen sein. Unterschiede im Ausgangsmaterial lassen sich, wie schon im Hauptteil 4 erwähnt wurde, auch im Gelände leicht feststellen, denn

die vertisolähnlichen Böden sind in auffallend hellen und dichtgelagerten, die typischen Barroböden hingegen in gelbbraunen, meist von vielen Grobporen durchzogenen Aschen ausgebildet.

In keinem der untersuchten Böden verringert sich jede einzelne gröbere Fraktion proportional dem Anstieg der Tongehalte, die Abnahme ist vielmehr von Fraktion zu Fraktion unterschiedlich. Diese Feststellung kann unter der gegebenen Voraussetzung (s. Kapitel 7.1.2.), dass das Ausgangsmaterial im gesamten Profil eine mehr oder weniger homogene Korngrössenzusammensetzung aufwies, als Beweis für eine in-situ-Tonbildung gelten, da bei einer Tonanreicherung durch Einschlämmung infolge des Verdünnungseffektes alle gröberen Fraktionen proportional abnehmen müssten.

Während nach den Ergebnissen der Korngrössenanalyse der Ton der oberen Horizonte in-situ gebildet wurde, sind dennoch im Gelände in allen Böden Merkmale einer Tonverlagerung zu beobachten. Eine Tonverlagerung nach unten findet also offenbar statt, nur ist sie geringer als die Tonneubildung, was in der Bilanz zwischen Wegfuhr und Nachlieferung zu einer Anreicherung des Tons in den oberen Horizonten führt. Diese tonreichen Horizonte sind damit keine Illuvialhorizonte, deren Ton aus dem ursprünglich darüberliegenden A_1 -Horizont stammt. Die im Abschnitt 4.1. formulierte Möglichkeit, dass ein A_1 -Horizont vorhanden war, heute aber erodiert oder so verändert ist, dass er als solcher nicht mehr erkannt werden kann, trifft nach diesen Befunden nicht zu.

Daneben muss allerdings in Betracht gezogen werden, dass die Böden, vor allem bei intensiver Ausprägung, Merkmale von Vertisolen zeigen. Sollte es in den obersten Horizonten durch Tonverlagerung zu einer schwachen Differenzierung der Tongehalte gekommen sein, würde diese durch Selbstmischvorgänge wieder rückgängig gemacht. Diese Einschränkung kann aber nur für die obersten sehr tonreichen Horizonte zutreffen; an der Feststellung, dass im oberen Profilbereich die Tonneubildung die Tonwegfuhr quantitativ übertrifft, ändert sie nichts.

7.1.4. Gesamtgehalte an Fe, Al, Ti, Mn und Si

In den Gesamtgehalten an Fe, Al, Ti, Mn und Si spiegelt sich der für die untersuchten Böden charakteristische bodenbildende Prozess, eine Kieselsäureverlagerung von oben nach unten, wider. Für die übrigen Elemente (Na, K, Mg und Ca) trifft dies nicht zu, da sie leicht verlagert oder von anderen Faktoren beeinflusst werden. Auf eine graphische Darstellung und nähere Erläuterung der Tiefenfunktionen dieser Elemente wurde daher verzichtet, zumal ihre Gesamtgehalte gering sind und sie deshalb bei den durchgeführten Berechnungen zur relativen Anreicherung nicht berücksichtigt wurden.

In den meisten der untersuchten Böden lassen sich nach oben ansteigende Gehalte an Fe_t , Al_t , Ti_t und Mn_t nachweisen, während umgekehrt die Si_t -Gehalte in den unteren Horizonten höher liegen als in den oberen. Die in den oberen Horizonten höheren Fe_t -, Al_t -, Ti_t - und Mn_t -Gehalte sind als relative Anreicherung zu verstehen, die durch die Wegfuhr von Kieselsäure verursacht wurde.

In der Tabelle 20 sind für einige Profile die aufgrund der Aenderung der SiO_2 -Gehalte innerhalb eines Profils theoretisch zu erwartenden Anreicherungen der übrigen Elemente mit deren tatsächlich gemessenen Anreicherungen verglichen. Die in der Tabelle angegebenen Werte wurden folgendermassen ermittelt: Ausgangspunkt war die Ueberlegung, dass im oberen Teil des Profils Kieselsäure weggeführt wurde, dass also die Proben aus den oberen Horizonten geringere SiO_2 -Gehalte aufweisen als Proben aus den unteren Horizonten. Haben ausser dem SiO_2 -Transport keine weiteren Verlagerungsvorgänge stattgefunden und wies die chemische Zusammensetzung des Ausgangsmaterials im gesamten Profil nur geringfügige Unterschiede auf, müssen die Gehalte aller übrigen Elemente in den oberen Horizonten bei einem Vergleich mit den unteren im selben Masse angestiegen sein. Dieser theoretisch zu erwartende Anstieg (ausgedrückt in % der Gehalte der unteren Horizonte) lässt sich aus der Aenderung der SiO_2 -Gehalte berechnen, wie an einem Beispiel gezeigt werden soll: Der SiO_2 -Gehalt betrage in einem oberen Horizont 50 %, in einem unteren 60 %. Der Gehalt der übrigen Elemente liegt damit im

Tab. 20: Vergleich des aufgrund der unterschiedlichen SiO₂-Gehalte errechneten Anstiegs mit den gemessenen Veränderungen der Gesamtgehalte an Fe, Al, Ti und Mn im obersten gegenüber dem untersten Horizont, ausgedrückt in % der Gesamtgehalte im untersten Horizont

Profil	% SiO ₂ im		berechneter Anstieg des Fe, Al, Ti und Mn in % (unterster Horizont = 100 %)	gemessene Veränderung in % (unterster Horizont = 100 %) für			
	untersten	obersten		Fe	Al	Ti	Mn
	Horizont						
Puebla	58,4	50,9	+18	+23	+19	+22	+48
Hueyotlipan	64,3	56,2	+23	+20	+16	+33	+75
Metepec	58,8	53,2	+14	+23	+15	+10	- 1
Schicht 1a	58,3	53,9	+11	+50	+18	+21	+79
Schicht 2	58,3	53,5	+12	+34	+16	+14	+69
Schicht 6	62,6	54,8	+21	+53	+20	+53	+60

oberen Horizont bei 50 %, im unteren bei 40 %. Gegenüber dem unteren weist also der obere Horizont um $\frac{(50 - 40) \cdot 100}{40} = 25 \%$ höhere Werte auf. Der theoretisch aufgrund der Aenderung der SiO₂-Gehalte zu erwartende Konzentrationsanstieg (bezogen auf die Gesamtgehalte des unteren Horizontes) beträgt damit für alle übrigen Elemente 25 %. Dieser Wert von 25 % kann nun mit dem aus den jeweiligen Analysendaten errechneten prozentualen Anstieg der Gesamtgehalte (wieder bezogen auf den unteren Horizont) der einzelnen Elemente verglichen werden.

Falls neben der Kieselsäurewegfuhr keine anderen Transportvorgänge stattgefunden haben, müssten in den oberen Horizonten alle übrigen Elemente im gleichen Masse und in Relation zur SiO₂-Verarmung angereichert sein. Wie aus der Tabelle 20 ersichtlich ist, trifft dies nur bedingt zu. Dafür können Verlagerungsvorgänge der angereicherten Elemente verantwortlich sein, wobei sowohl eine Wegfuhr als auch Zufuhr von aussen (z. B. aus darüberliegenden Schichten) denkbar ist; ausserdem sind geringe Unterschiede im Ausgangsmaterial nicht auszuschliessen. Zusätzlich muss berücksichtigt werden, dass die angewandte Berechnungsmethode nur grobe Näherungswerte liefern kann.

Trotz dieser Einschränkungen stimmt besonders beim Al_t und mit einigen Ausnahmen auch beim Fe_t und Ti_t der tatsächlich feststellbare Konzentrationsanstieg recht gut mit der aus den Änderungen im SiO_2 -Gehalt zu erwartenden Anreicherung überein. Für das Mn_t trifft diese Übereinstimmung infolge seiner hohen Mobilität nicht im selben Masse zu.

Die relative Anreicherung auf Kosten der Kieselsäure spiegelt sich besonders deutlich im Kieselsäure/Sesquioxid-Verhältnis (SiO_2/R_2O_3 ; $R_2O_3 = Al_2O_3 + Fe_2O_3$) wider. In fast allen Böden erreicht dieses Verhältnis in den unteren Horizonten deutlich höhere Werte als in den oberen.

Hauptverantwortlich für die hohe Mobilität der Kieselsäure dürfte das Ausgangsmaterial sein. Gerade die leicht verwitterbaren vulkanischen Gläser, die in Pyroklastika reichlich vertreten sind, setzen bei ihrer Verwitterung beträchtliche Mengen an Kieselsäure frei, die durch den abwärts gerichteten Perkolationsstrom in tiefere Partien des Profils verfrachtet werden.

Daneben spielen aber sicher auch die Klimabedingungen eine Rolle. Dies geht schon daraus hervor, dass im engeren Arbeitsgebiet keine Andosole vorkommen, die in den Höhenlagen der Sierra Nevada und der Malinche weit verbreitet sind (KNEIB et al. 1973). In einem Boden wird bei sonst gleichen Bedingungen umso mehr Kieselsäure gelöst, je höher die perkolierenden Wassermengen und je höher die im Boden vorkommenden Temperaturen sind (McKEAGUE u. CLINE 1963a). Obwohl im Untersuchungsgebiet keinesfalls feuchttropische Bedingungen herrschen (LAUER u. STIEHL 1973), sind während der sommerlichen Regenzeit die Verwitterungsbedingungen im Boden offenbar doch wesentlich intensiver als die Klassifikation des Jahresklimas erwarten lässt. So dürften relativ hohe Bodentemperaturen erreicht werden, und es ist während des Sommers mit einem abwärts gerichteten Perkolationsstrom zu rechnen, Bedingungen, die eine Kieselsäureverlagerung in den unteren Profilbereich begünstigen.

7.1.5. Fe-Fraktionierung

Die beiden angewandten Extraktionsverfahren führen zu einer Trennung des Gesamteisens in chemisch recht gut definierte Fraktionen. So werden durch die Dithionit-Citrat-Extraktion die "freien Fe-Oxide" (der Begriff "Fe-Oxide" wird hier auf alle Verbindungen des $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$ -Systems angewendet) erfasst, während die Oxalatextraktion relativ spezifisch amorphe Fe-Oxide in Lösung bringt. Die Differenz zwischen den beiden Fraktionen ($\text{Fe}_d - \text{Fe}_o$) ist damit ein Mass für die in kristalliner Form vorliegenden Fe-Oxide. Die Differenz zwischen dem Gesamt-Fe und dem dithionitlöslichen Fe ($\text{Fe}_t - \text{Fe}_d$) entspricht dem silikatisch gebundenem Eisen (SCHWERTMANN 1959).

Bei allen untersuchten Böden liegen die Anteile der verschiedenen Fe-Fraktionen in etwa auf gleicher Höhe. So beträgt die Fe_d -Fraktion rund 10 %, die Fe_o -Fraktion rund 1 % des Gesamt-Fe. Damit sind vor allem die Fe_o -Werte ausserordentlich niedrig; das bedeutet, dass das pedogene Fe fast ausschliesslich in kristalliner Form vorliegt. Der Aktivitätsgrad (Fe_o/Fe_d) zeigt dies recht deutlich; er liegt in den vertisolähnlichen Bildungen (Profile Puebla, Hueyotlipan und Xaltocan) bei 0,2, in den Barroböden und den fossilen Böden (Ausnahme: Schichten 1 und 0 im Profil San Jerónimo) sogar bei 0,05. Der etwas höhere Aktivitätsgrad in den vertisolähnlichen Böden dürfte mit den dort zu beobachtenden Staunässemerkmalen zusammenhängen, so vor allem mit den zahlreichen Fe-Mn-Konkretionen (BLUME u. SCHWERTMANN 1969, MIEHLICH 1970). Die gleiche Feststellung gilt auch für die Schichten 1 und 0 im Profil San Jerónimo.

Bei den untersuchten Böden sind die Gehalte an oxalat- und dithionitlöslichen Fe in den oberen Horizonten im allgemeinen höher als in den unteren. Bei der Interpretation dieser Werte ist allerdings die durch Wegfuhr bedingte Kieselsäureverarmung der oberen Horizonte zu berücksichtigen. Ein Anstieg der Fe-Fraktionen ist allein aufgrund des damit verbundenen Konzentrationseffektes zu erwarten. Zusätzlich ist damit zu rechnen, dass bei einer Kieselsäurewegfuhr auch silikatisch gebundenes Fe freigesetzt wird, das in der Fe_d -Fraktion erscheinen müsste.

Daher sollte diese Fraktion wesentlich stärker ansteigen als nur aufgrund des Konzentrationseffektes zu erwarten wäre. Der Anstieg der Fe_d -Fraktion ist im allgemeinen höher als der Anstieg der Fe_t -Gehalte, doch ist diese Tendenz durch Verlagerungsvorgänge stark überdeckt; Prozent-Angaben zu diesem Anstieg wie beim Gesamt-Fe erschienen daher wenig sinnvoll. Deshalb wurde versucht, die Veränderungen des silikatisch gebundenen Fe ($\text{Fe}_t - \text{Fe}_d$) zu erfassen (Tab.21). Falls bei der Kieselsäurewegfuhr und der vorangegangenen Lösung der vulkanischen Gläser auch silikatisch gebundenes Fe freigesetzt wurde, müsste dies zu einem Absinken der entsprechenden Gehalte in den oberen Horizonten führen.

Tab. 21: Die Gehalte an silikatisch gebundenem Fe und an Gesamt-Kieselsäure in den oberen Horizonten, ausgedrückt in % der entsprechenden Gehalte der unteren Horizonte

	silikatisch gebundenes Fe	Gesamt-Si
Profil Puebla	123 %	87 %
Profil Hueyotlipan	120 %	87 %
Profil Metepec	125 %	90 %
Profil San Jerónimo:		
Schicht 1a	150 %	92 %
Schicht 2	119 %	92 %
Schicht 6	132 %	88 %

Nach der Tabelle 21 ist entgegen der Erwartung in allen Profilen ein Anstieg des silikatisch gebundenen Fe in den oberen Horizonten festzustellen. Aufgrund des Chemismus des Ausgangsmaterials muss angenommen werden, dass bei der Verwitterung der Gläser Fe freigesetzt wird, auch wenn über das Mass nicht ohne weiteres Aussagen gemacht werden können. Dass trotzdem die Gehalte an silikatisch gebundenem Fe nach oben hin ansteigen, kann nur damit erklärt werden, dass freies Eisen wieder in silikatische Bindung übergeht, und zwar wahrscheinlich im Rahmen der Tonmineralneubildung.

Die Gehalte an freiem Fe (Fe_d) sind in den oberen Horizonten im allgemeinen höher als in den unteren. Allerdings lässt sich

in einigen Fällen (Schichten 1a, 3, 5, 6 und 6a) feststellen, dass in einem obersten Bereich der Böden die Gehalte von oben nach unten ansteigen. Bei Berücksichtigung des Konzentrationseffektes durch die SiO_2 -Wegfuhr wird diese Tendenz noch deutlicher. Diese Verteilung dürfte durch Verlagerungsvorgänge bedingt sein.

7.1.6. Al-Fraktionierung

Die "freien Al-Oxide" (und -Hydroxide) können durch eine 4 h-Extraktion des Bodens mit NaOH in Lösung gebracht werden, wobei aber auch Silikate angegriffen werden (FOSTER 1953). Daneben wird eine Reihe weiterer Extraktionsverfahren angewendet, die - falls nicht hohe Mengen an Gibbsit vorhanden sind - relativ eng korrelierte Werte zur Methode nach FOSTER ergeben (BLUME u. SCHWERTMANN 1969).

In der vorliegenden Arbeit wurden die Proben einer verkürzten NaOH-Extraktion nach HASHIMOTO u. JACKSON (1960) unterzogen; zusätzlich wurde die Al-Konzentration im Dithionit-Citrat-Auszug gemessen. Die Werte des Al_d liegen wesentlich niedriger als die des Al_{OH} , doch lässt sich eine sehr enge Korrelation zwischen den beiden Werten feststellen. Nur in Proben mit einem deutlichen C-Gehalt steigen die Al_d -Gehalte im Vergleich zu den Al_{OH} -Gehalten etwas an.

Die Al_d - und Al_{OH} -Gehalte nehmen in den untersuchten Böden im allgemeinen von unten nach oben zu; sie verhalten sich damit ähnlich wie die Gehalte an freiem Eisen. Auch hier sind die bei der Verteilung des freien Eisens vorgebrachten Ueberlegungen zu berücksichtigen, dass nämlich allein schon aufgrund des Konzentrationseffektes durch die Kieselsäureverarmung in den oberen Horizonten höhere Al-Gehalte zu erwarten sind. Ebenfalls müssten die beiden Fraktionen (Al_d und Al_{OH}) noch zusätzlich anwachsen, da zumindest Teile des bei der Verwitterung freigesetzten Al in diesen Fraktionen erscheinen. Der Anstieg der Al_d - und Al_{OH} -Gehalte in Richtung auf die oberen Horizonte ist im allgemeinen wesentlich stärker als der Anstieg des Gesamt-Al, was mit diesen Ueberlegungen in Einklang steht. Berechnungen wie beim silikatisch gebundenem Fe können hier aller-

dings nicht durchgeführt werden, da die einzelnen Al-Fractionen chemisch relativ gut definierten Al-Verbindungen nicht zugeordnet werden können.

In einigen Fällen (Schichten 3, 5 und 6b im Profil San Jerónimo) lässt sich allerdings beobachten, dass die Al_{OH} - und, etwas weniger deutlich, auch die Al_d -Gehalte mit der Tiefe zunehmen. Es handelt sich dabei um die Böden, in denen keine signifikanten Unterschiede der SiO_2 -Gehalte zwischen den oberen und den unteren Horizonten nachgewiesen werden können, ebenso lässt sich eine Anreicherung der übrigen Elemente in den oberen Horizonten nur vereinzelt feststellen. Die Al_{OH} -Verteilung im Profil spricht für eine stattgefundene Al-Verlagerung von oben nach unten. Die wahrscheinlich auch in diesen Böden erfolgte SiO_2 -Verarmung der oberen Horizonte lässt sich aufgrund der Gesamtgehalte nicht mehr nachweisen, weil die Al-Verlagerung die durch die SiO_2 -Wegfuhr bedingten Differenzierungen überdeckt.

7.1.7. Mn-Fraktionierung

Mit dem dithionitlöslichen Mn (Mn_d) werden mehr oder weniger die "freien Mn-Oxide" (und -Hydroxide) erfasst (BLUME u. SCHWERTMANN 1969). In der ersten Analysenserie wurde auch das oxalat-lösliche Mn (Mn_o) bestimmt, dessen Werte etwas niedriger liegen, aber mit den Mn_d -Gehalten hoch korreliert sind, weshalb in der zweiten Analysenserie auf eine Bestimmung verzichtet wurde.

Bei allen untersuchten Proben sind die Mn_d - sehr eng mit den Mn_t -Gehalten korreliert, wobei der Anteil des freien Mn am Gesamt-Mn meisten 60-70 % beträgt.

Infolge der hohen Korrelation der beiden Werte lassen sich aus den Gehalten an Mn_d gegenüber dem Mn_t kaum zusätzliche Informationen über eine Profildifferenzierung gewinnen. In beiden spiegelt sich die schon beschriebene relative Anreicherung wider, die aber durch Verlagerungsvorgänge des Mn selbst überdeckt sein kann. So weisen die meisten Horizonte, in denen im Gelände Staunässemerkmale festgestellt wurden, deutlich höhere Mn_d - und Mn_t -Gehalte auf. Dabei ist das Mn überwiegend in Kon-kretionen angereichert, die Mn_t -Gehalte von im Extremfall bis

zu 3 %, normalerweise um 1 % aufweisen. Der Gesamt-Mn-Gehalt der übrigen Proben liegt bei 800 ppm. Nach den vorliegenden Ergebnissen ist damit ein sprunghaft erhöhter Mn-Gehalt ein wesentlich besseres Staunässemerkmal als der Aktivitätsgrad des pedogenen Eisens.

7.1.8. Si-Fraktionierung

7.1.8.1. Laugelösliches Si und Zerfallsverhalten des Tepetate

Das angewandte, relativ schonende Extraktionsverfahren löst nach HASHIMOTO u. JACKSON (1960) Allophane, Gibbsite, amorphe Kieselsäure und Al-Oxide und -Hydroxide, aber auch oberflächlich gebundene Anteile von Schicht- und anderen Silikaten.

In allen untersuchten Böden steigen mit zunehmender Profiltiefe die Si_{OH} -Gehalte stark an. Um Aussagen über die Bindungsform des extrahierten Si zu ermöglichen, sollen seine Gehalte mit denen des im gleichen Arbeitsgang extrahierten laugelöslichen Al verglichen werden. Die Tabelle 22 gibt einen Überblick über die $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ -Verhältnisse im NaOH-Extrakt und im Gesamtaufschluss.

Tab. 22: $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ -Verhältnisse des laugelöslichen Si und Al (in Klammern für das Gesamt-Si und -Al) der obersten und der (tieferen) Horizonte, die im Profil die höchsten Si_{OH} -Gehalte aufweisen.

	oberster Horizont	tieferer Horizont
Profil Puebla	2,1 (2,0)	7,1 (2,9)
Profil Hueyotlipan	2,9 (2,6)	5,9 (3,4)
Profil Metepec	2,9 (2,2)	5,9 (2,8)
Profil San Jerónimo:		
Schicht 1a	1,9 (2,1)	2,5 (2,7)
Schicht 2	2,6 (2,2)	4,2 (2,7)
Schicht 3	2,4 (2,3)	3,4 (2,4)
Schicht 5	3,1 (2,1)	2,3 (2,2)
Schicht 6	1,5 (2,1)	3,7 (2,9)

Mit einer Ausnahme (Schicht 5) lässt sich feststellen, dass die $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ -Verhältnisse der NaOH-Extrakte in den tieferen Horizonten wesentlich höher sind als in den oberen. In den oberen Horizonten liegen die Verhältnisse zwischen 2 und 3, also in einem Bereich, der eine vorwiegende Herkunft aus Allophanen, aber auch aus schlecht kristallisierten Tonmineralen als denkbar erscheinen lässt. Das $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ -Verhältnis liegt nach BESOAIN (1969) bei Allophanen zwischen 0,5 und 3,5, bei Tonmineralen kann das Verhältnis in sehr weiten Grenzen variieren (SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL 1970). In den tieferen Horizonten steigen die $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ -Verhältnisse so stark an, dass auf das Vorhandensein grösserer Mengen amorpher Kieselsäure geschlossen werden muss, umsomehr als die entsprechenden Verhältnisse im Gesamtmaterial wohl etwas, aber niemals in diesem Ausmass ansteigen.

Beim Extraktionsverfahren wurde in der vorliegenden Arbeit ein engeres Boden/Flüssigkeitsverhältnis gewählt als von HASHIMOTO u. JACKSON angegeben wird, um in den für die Bestimmung des Si mit dem AAS günstigsten Konzentrationsbereich zu kommen. Nach HASHIMOTO u. JACKSON wird dadurch die amorphe Kieselsäure nicht vollständig gelöst; es ist daher damit zu rechnen, dass der Anstieg der Si_{OH} -Gehalte im unteren Profilbereich bei Anwendung der Originalmethode noch stärker ausfiele.

Die Existenz von amorpher Kieselsäure in den unteren Horizonten der untersuchten Böden steht in sehr gutem Einklang mit dem aus den Gesamtgehalten abgeleiteten Kieselsäuretransport von oben nach unten. Die aus den oberen Horizonten weggeführte Kieselsäure wurde damit zumindest zu einem Teil in den tieferen Partien abgelagert und dürfte mit verantwortlich sein für die hohe mechanische Festigkeit dieser Horizonte in trockenem Zustand. Es kann generell festgestellt werden, dass die tepetatebildenden Horizonte höhere Gehalte an Si_{OH} aufweisen als die nicht tepetatebildenden.

Das Zerfallsverhalten des Tepetate bestätigt die Wichtigkeit der Kieselsäure als Bindemittel. Meist zerfällt der Tepetate in HCl nicht oder kaum, in H_2O kaum und in NaOH vollständig. Allein dieses Verhalten spricht dafür, dass amorphe Kieselsäure

für die mechanische Festigkeit des Tepetate mit verantwortlich ist. Zusätzlich ist ein mit zunehmender Profiltiefe starker Si_{OH} -Anstieg verknüpft mit einer hohen Widerstandskraft gegen HCl und H_2O , während umgekehrt ein Abfall der Si_{OH} -Gehalte innerhalb des tepetatebildenden Horizontes gleichzeitig die Resistenz der entsprechenden Probe in HCl und H_2O stark herabsetzt. Dies kann besonders schön in den untersten Proben der tepetatebildenden Horizonte in Schicht 1 und Schicht 2 im Profil San Jerónimo beobachtet werden. Der Tepetate darf daher nach der amerikanischen Bodenklassifikation (USDA 1960, 1967) als Duripan angesprochen werden.

SAKR u. MEYER (1970) benutzen die NaOH -Extraktion nach HASHI-MOTO u. JACKSON (1960) zur Bestimmung der Allophangehalte in der Tonfraktion $<0,6 \mu$. Bei den hier untersuchten Böden dürfte dies aufgrund der hohen Anteile amorpher Kieselsäure in den unteren Horizonten nicht möglich sein.

7.1.8.2. Wasserlösliches Si

Die Gehalte an wasserlöslicher Kieselsäure verlaufen in etwa parallel den Werten des laugelöslchen Si, doch ist auch eine gewisse Korrelation mit den Tongehalten festzustellen. Dies dürfte auf die angewandte Methode zurückzuführen sein. Um die grosse Anzahl Proben innerhalb der zur Verfügung stehenden Zeit analysieren zu können, wurde nur während 1 h, dafür aber bei 80°C extrahiert. Die Löslichkeit amorpher Kieselsäure in Wasser ist u.a. von der Temperatur und der Körnung der Kieselsäure abhängig (ILER 1955). Dabei steigt die Löslichkeit mit steigender Temperatur und feinerer Körnung. Diese Angaben beziehen sich aber auf den Endzustand, bei dem zwischen gelöster und nicht gelöster Kieselsäure Gleichgewicht herrscht. Dieser Gleichgewichtszustand wird bei der Kieselsäure erst sehr spät erreicht, weshalb in der Literatur auch Extraktionszeiten von mehreren Wochen angegeben werden (SCHACHTSCHABEL u. HEINEMANN 1967). Allerdings wird bei höheren Temperaturen das Gleichgewicht schneller erreicht (ILER 1955); deshalb wurde eine Extraktionstemperatur von 80°C gewählt. Trotzdem ist aber nicht damit zu rechnen, dass sich der Gleichgewichtszustand schon innerhalb einer Stunde einstellt. Da feingekörnte Kieselsäure nicht nur höher

löslich ist als grobgekörnte, sondern sich auch schneller löst, ist zu erwarten, dass in den tonreichen Proben, wo sich die amorphe Kieselsäure auf einer wesentlich grösseren Oberfläche abgeschieden hat, sowohl der Gleichgewichtszustand mehr in Richtung gelöste Kieselsäure verschoben ist, als auch dass dieses Gleichgewicht schneller erreicht wird. Bei Proben mit gleichen Gehalten an amorpher Kieselsäure ist daher bei tonreicheren Proben damit zu rechnen, dass innerhalb einer Stunde mehr Kieselsäure in Lösung geht. Daher ist es verständlich, dass die an sich vorhandene Tendenz der in Richtung auf die tepetatebildenden Horizonte zunehmenden Gehalte an wasserlöslicher Kieselsäure durch die über dem Tepetate liegenden tonreichen Horizonte abgeschwächt wird. Bei einigen Böden weisen die tonreichen Horizonte sogar höhere $\text{Si}_{\text{H}_2\text{O}}$ -Gehalte auf als die darunterliegenden tepetatebildenden Horizonte.

Allerdings kann auch nicht ausgeschlossen werden, dass die in den unteren Horizonten abgelagerte Kieselsäure schon so stark gealtert ist, dass ihre Wasserlöslichkeit erheblich herabgesetzt ist. Ein solcher Vorgang würde sich ebenfalls in niedrigeren $\text{Si}_{\text{H}_2\text{O}}$ -Gehalten widerspiegeln.

Wie weit die erhaltenen Werte an wasserlöslichem Si auch durch Al und Fe beeinflusst werden, kann aus den Resultaten nicht abgelesen werden. Es ist bekannt, dass gerade bestimmte Al-Verbindungen die Löslichkeit amorpher Kieselsäure in Wasser sehr stark herabsetzen (McKEAGUE u. CLINE 1963a, 1963b, 1963c, JONES u. HANDRECK 1963). Da bei den untersuchten Profilen die oberen Horizonte im allgemeinen höhere Gehalte an extrahierbarem Al als die unteren aufweisen, ist es denkbar, dass die nach unten schwach zunehmenden Gehalte an wasserlöslicher Kieselsäure nicht mit einem Anstieg der Gehalte an amorpher Kieselsäure, sondern mit einer durch die geringere Al-Konzentration bedingten besseren Löslichkeit zusammenhängen. Die mit heissem Wasser extrahierten Anteile des Al liegen bei den vorliegenden Proben allerdings unter der Nachweisgrenze des AAS (ca. 1 ppm). Trotzdem kann aber eine Beeinflussung der Kieselsäurelöslichkeit nicht ausgeschlossen werden, da dazu schon sehr geringe Mengen Al ausreichen.

Die Tiefenfunktionen des laugelöslichen Si deuten aber klar auf eine Zunahme der amorphen Kieselsäure im unteren Profilbereich. Aus den Resultaten der Wasserextraktion muss daher der Schluss gezogen werden, dass die angewandte Methode für die Fragestellung nicht zweckmässig ist.

7.1.9. Carbonat-Gehalte und pH

Alle untersuchten Proben sind carbonatfrei. Die pH-Werte liegen bei einer Bestimmung in der Boden-Wasser-Suspension zwischen 6 und 7, in der Boden-1 n KCl-Suspension zwischen 4,5 und 5,5. Innerhalb eines Profils wechseln die Werte nur wenig, ausgeprägte Tendenzen sind nicht zu erkennen. Auf eine Darstellung und nähere Interpretation wird daher verzichtet; die einzelnen Werte sind im Anhang wiedergegeben.

Im vertisolähnlichen Boden des Profils Hueyotlipan konnten im II B_{vt}S_w-Horizont carbonathaltige Konkretionen gefunden werden. Diese weisen einen Ca_t-Gehalt von 16,9 % und einen Mg_t-Gehalt von 1,3 % auf; die Carbonate liegen damit zum überwiegenden Teil als CaCO₃ vor. Das konkretionsfreie Material aus diesem Horizont zeigt Gehalte von ca. 2 % Ca_t und ca. 1 % Mg_t. Carbonate lassen sich wie in den übrigen Böden nicht nachweisen.

7.1.10. Tonmineralogische Untersuchungen

Die tonmineralogischen Untersuchungen wurden an einem vertisolähnlichen Boden (Profil Hueyotlipan), einem typischen Barroboden (Schicht 6 im Profil San Jerónimo) und einem fossilen Boden (Schicht 5 im Profil San Jerónimo) durchgeführt. Zusätzlich wurde eine Probe aus dem obersten Horizont der vertisolähnlichen Bildung im Profil Puebla untersucht.

Ein grosser Teil der in den untersuchten Böden vorhandenen Tonminerale ist aufgrund des deutlich ausgeprägten 7 Å-Peaks den Zwischichtmineralen zuzuordnen. Allerdings kann nicht mit Sicherheit gesagt werden, ob Halloysit oder Kaolinit dominiert, da die Herstellung der Präparate der DMSO-behandelten Proben Schwierigkeiten bereitete und infolgedessen die Röntgenaufnahmen F und G keine genauere Interpretation erlauben. Nach

BESOAIN (1969) bilden sich in vulkanischen Aschenböden bei fortschreitender Entwicklung aus Allophanen Halloysite, die theoretisch durch Wasserabgabe zu Kaolinit altern können. Das Vorhandensein grosser Mengen von Zweischichtmineralen in den untersuchten Böden ist folglich nicht überraschend.

Im Bereich von $10-18 \text{ \AA}$ treten hingegen bei Ca-Belegung (Kurve A) nur bei Proben aus den obersten Horizonten der vertisol-ähnlichen Böden gut definierte Peaks auf, die in diesem Falle bei $18 \text{ \AA}$ liegen und nach Glycerinbehandlung (Kurve B) schwächer werden bzw. verschwinden. Die übrigen Proben zeigen im Bereich über $10 \text{ \AA}$ viele kleine Peaks, die nach Glycerinbehandlung ebenfalls meist schwächer werden, was dann mit einem Ansteigen des Untergrundes parallel geht. Eine K-Belegung (Kurve C) kann besonders nach anschliessendem Erhitzen auf 80°C (Kurve D) zu einem Verstärken der $14 \text{ \AA}$ - und der $10 \text{ \AA}$ -Peaks führen, doch ist diese Kontraktion meist reversibel (Kurve E). Die Minerale dürfen aufgrund dieser Befunde als stark expandierende Dreischichtminerale angesprochen werden; ob es allerdings schon statthaft ist, von Montmorillonit zu sprechen, soll offen bleiben. Generell ist der Kristallisationsgrad schlecht, möglicherweise treten auch Bereiche mit Wechsellagerungsmineralen auf. Hervorzuheben ist, dass sich die Dreischichtminerale der vertisol-ähnlichen Böden trotz besserer Kristallisation im Prinzip gleich verhalten (Aufweitung bei Glycerinzugabe, Kontraktion bei K-Belegung) wie die der Barroböden. Dies kann als weiterer Hinweis auf die enge Verwandtschaft zwischen den beiden Böden gelten.

In Böden aus relativ basischen Aschen können sich Montmorillonite bilden. BESOAIN (1969) beschreibt mögliche Synthesewege, wobei als Voraussetzung hohe Ca- und Mg-Gehalte und ein wechselfeuchtes Klima notwendig sind. Diese Voraussetzungen sind bei den untersuchten Böden gegeben, die Ca_t -Gehalte betragen durchschnittlich ca 2,5 %, die Mg_t -Gehalte 1-1,5 %.

Die NaOH-Vorbehandlung nach HASHIMOTO u. JACKSON (1960) wurde durchgeführt, um möglicherweise vorhandene Allophane zu zerstören. Hohe Allophangehalte können eine definierte Orientierung auch gut kristallisierter Tonminerale verhindern,

wodurch die Reflexe unscharf werden oder ganz verschwinden.

Wie die Kurve H zeigt, sind in keinem Fall nach einer NaOH-Behandlung vorher nicht vorhandene Peaks zu beobachten. Nach diesem Befund treten in den untersuchten Böden die Allophane in ihrer Bedeutung stark zurück.

Dafür hat die NaOH-Behandlung andere Auswirkungen. In keiner Probe zeigt die Kurve H die in den unbehandelten Proben vorhandenen Peaks im Bereich um $18 \text{ \AA}$, die NaOH-Behandlung hat damit die für diese Peaks verantwortlichen Dreischichtminerale zerstört. Die geringe Widerstandskraft gegen NaOH ist ein weiterer Hinweis auf den schlechten Kristallisationsgrad der expandierenden Dreischichtminerale; ebenfalls kann angenommen werden, dass diese Minerale vorwiegend in den Feintonfraktionen zu finden sind.

7.1.11. Allophantest

In den fossilen Böden und im Barroboden des Profils Metepec konnten keine Allophane nachgewiesen werden. Hingegen zeigen die vertisolähnlichen Böden (Profile Puebla und Hueyotlipan), aber auch der Barroboden in Schicht 6 im Profil San Jerónimo auf den Allophantest eine deutliche Reaktion, und zwar - ausser im Profil Hueyotlipan - besonders in den tonreichen Horizonten.

Weder im Gelände noch in den tonmineralogischen Untersuchungen konnten Hinweise auf einen erhöhten Allophangehalt gefunden werden. Wahrscheinlich sind aber allein infolge der hohen Tongehalte und des schlechten Kristallisationsgrades der Dreischichtminerale viele austauschbare OH-Gruppen vorhanden, die beim Allophantest durch die F-Ionen verdrängt werden und so den pH-Wert der umgebenden Lösung erhöhen, was zur Rotfärbung des Phenolphthaleins führt. Inwieweit an diesem Prozess auch Allophane beteiligt sind, lässt sich nicht abschätzen, Tatsache ist aber, dass die Allophane die Eigenschaften der untersuchten Böden nicht mehr bestimmen.

7.1.12. Mikromorphologische Untersuchungen

Dünnschliffe wurden hergestellt vom vertisolähnlichen Boden im Profil Hueyotlipan, vom Barroboden in Schicht 6 und vom fossilen Boden in Schicht 5 des Profils San Jerónimo sowie von der Tepetateoberfläche des Profils Metepec.

Das Ausgangsmaterial der drei Böden ist unterschiedlich, trotzdem sind sie sich in ihrer Mikromorphologie recht ähnlich. Besonders deutlich ist die Aehnlichkeit zwischen den beiden rezenten Böden.

Der Verwitterungsgrad nimmt in allen drei Profilen von oben nach unten ab. Bei der abgelaufenen Verwitterung scheinen die Feldspäte kaum angegriffen worden zu sein und weisen nur geringe Verwitterungsmerkmale auf. Weiter fortgeschritten ist hingegen der Verwitterungsgrad der Pyroxene (HEIDE-WEISE 1973). Auch in den untersten Profilbereichen sind deutliche Spuren einer "Hahnenkammverwitterung" zu finden, deren Intensität innerhalb der Profile nach oben stark zunimmt. Häufig spiegelt dabei das umgebende Material die idiomorphe Kristallform noch als Hohlform wider. Dies trifft vor allem für den fossilen Boden in Schicht 5 zu (Abb. 32, 33, 34). Beim Barroboden in Schicht 6 und besonders im vertisolähnlichen Boden im Profil Hueyotlipan wurden diese Hohlräume in den oberen Horizonten durch die stattgefundenen Quellungs- und Schrumpfungsvorgänge zerstört, so dass man sie nur noch in den tieferen Profilbereichen beobachten kann.

Ein gutes Mass für den Verwitterungsgrad ist der mit der Profiltiefe wechselnde Gehalt an vulkanischen Gläsern. Das Ausgangsmaterial des Barrobodens in der Schicht 6 besteht zu einem grossen Teil aus vulkanischen Gläsern (Abb. 42), deren Gehalt nach oben hin kontinuierlich abnimmt. So sind in den obersten Horizonten nur noch wenige Splitter, eingebettet in eine tonige Grundmasse, zu finden. Der Gehalt an vulkanischen Gläsern in den unteren Horizonten des vertisolähnlichen Bodens ist deutlich niedriger, doch hat auch in diesem Profil nach oben hin eine Abnahme stattgefunden. Die Schicht 5 ist schon in ihren unteren Partien praktisch glasfrei, Beobachtungen

dieser Art sind deshalb nicht möglich.

Der innerhalb eines Profils nach oben ansteigende Tongehalt ist auch im Dünnschliff sichtbar. Zusätzlich ist in allen untersuchten Böden die Doppelbrechung in den oberen Horizonten stärker* als in den unteren. Besonders deutlich ist diese Tendenz im vertisolähnlichen Boden im Profil Hueyotlipan ausgeprägt, der den höchsten Tongehalt der mikromorphologisch untersuchten Böden aufweist. Doppelbrechende Stellen lösen sich mit weniger stark doppelbrechenden ab, wobei die Tonmineralpakete in den stark doppelbrechenden Partien deutlich orientiert sind. An einigen Stellen lässt sich zusätzlich feststellen, dass diese Orientierung parallel zu den Oberflächen von Schwundrissen verläuft. Dabei handelt es sich aber nicht um reine Tonbeläge, sondern in das tonige Material sind auch grobe Bodenbestandteile mit eingearbeitet. Wahrscheinlich handelt es sich zum einen um Tonbeläge, die durch Schrumpfung und Quellung aufgearbeitet wurden, andererseits aber auch um Tonmineral-Pakete, die durch die bei diesen Vorgängen entstehenden Scherkräfte ausgerichtet wurden (Abb. 36, 37, 38).

Der Barroboden in Schicht 6 zeigt ähnliche Phaenomene, nur sind sie etwas weniger ausgeprägt. Dies kann mit dem niedrigeren Tongehalt und der schlechteren Kristallisation der Tonminerale (s.Kap.7.1.10.) erklärt werden.

Der fossile Boden weist zwar auch einen nach oben ansteigenden Tongehalt auf und zeigt in den oberen Horizonten eine etwas stärkere Doppelbrechung, doch sind keine Zonen mit orientierten Tonmineralpaketen auszumachen. Dies dürfte damit zusammenhängen, dass in diesem fossilen Boden heute kaum noch Quellungs- und Schrumpfungsvorgänge ablaufen, da er etliche Meter unter der aktuellen Oberfläche liegt. Daher sind gerade in diesem

* Die Begriffe "stark (=hoch) bzw. schwach (=niedrig) doppelbrechend" werden im folgenden nur zur Beschreibung des Phaenomens benutzt, dass bei gekreuzten Nicols das betrachtete Objekt mehr oder weniger stark aufleuchtet (verglichen in der Stellung der jeweilig maximalen Helligkeit). Ein unterschiedliches Aufleuchten kann entweder auf dem Vorhandensein von Substanzen mit höherer oder geringerer Doppelbrechung im streng mineralogischen Sinne oder aber auf Konzentrationsunterschieden von Substanzen mit gleicher Doppelbrechung beruhen.

Boden auch die Hohlformen, aus denen die Pyroxene herausgewittert sind, noch besonders schön erhalten.

Alle drei Böden zeigen deutliche Anzeichen einer Tonverlagerung. Die meisten Grobporen und Schwundrisse sind auch noch in den unteren Horizonten mit Tonbelägen ausgekleidet (Abb.35). Diese Tonbeläge lassen sich lichtmikroskopisch nicht auflösen, sie bestehen daher hauptsächlich aus Feinton. Sie zeigen hohe Doppelbrechung mit scharfer Auslöschung, sind also ausserordentlich gut orientiert. In den oberen Horizonten sind die Hohlräume häufig vollständig mit Ton ausgefüllt, doch ist in diesen Fällen die Orientierung schlechter.

Alle drei Böden sind tepetatebildend und zeigen einen Anstieg der Gehalte an laugelösllicher Kieselsäure in Richtung auf die tepetatebildenden Horizonte. Am Dünnschliff lässt sich allerdings ein direkter Nachweis für die Mitwirkung der Kieselsäure an der Verkittung nicht führen, da in keinem Fall eigentliche Kieselsäurekrusten (auch nicht bei den Oberflächenproben) ausgebildet sind (Abb. 39, 40). Dieser Befund steht absolut in Einklang mit der Tatsache, dass auch im Gelände solche Krusten nicht gefunden wurden. Einzig im Profil Hueyotlipan ist ein Hinweis auf die Beteiligung der Kieselsäure gegeben. Die im Unterboden vorhandenen Tonbeläge weisen deutlich niedrigere Brechungsindices auf als das Einbettungsmittel ($n = 1,55-1,57$). Wohl besteht die Möglichkeit, dass es sich bei diesen Tonbelägen um reinen Montmorillonit* ($n_y = 1,499-1,533$; TRÖGER 1971) handelt, doch muss in Betracht gezogen werden, dass in den Ton auch feine Kieselsäurekrusten (n (Opal) = $1,44-1,46$; TRÖGER 1971) eingelagert wurden, die bei den angewandten Vergrößerungen nicht mehr direkt sichtbar sind, den Brechungsindex des Ton-Kieselsäuregemischs aber doch herabsetzen (ALTEMÜLLER).

* Montmorillonit ist nach der Tonmineral-Analyse in diesem Profil vorhanden, doch muss offen bleiben, in wie reiner Ausprägung und Kristallisation.

7.1.13. Die Deckschicht

Im Chemismus unterscheidet sich die Deckschicht kaum von den darunterliegenden Böden; die Gesamtgehalte der einzelnen Elemente sind im allgemeinen mit den entsprechenden Gehalten in den unteren Horizonten der Barroböden bzw. der vertisol-ähnlichen Bildungen identisch.

Bei einer Fraktionierung sind die extrahierten Anteile, bezogen auf den Gesamtgehalt, meist deutlich geringer als in den bisher beschriebenen Böden, ein Beweis, dass in der Deckschicht eine Verbraunung kaum stattgefunden hat, was durch die Tongehalte von 5-10 % bestätigt wird, umso mehr als die Tone kaum in-situ gebildet wurden (s.u.). Allerdings liegen die Gehalte an amorphen Fe-Oxiden (Fe_O) deutlich höher als in den tieferen Schichten, was sich besonders gut im Aktivitätsgrad ($\text{Fe}_\text{O}/\text{Fe}_\text{d}$) widerspiegelt, der Werte zwischen 0,2 und 0,4 erreicht. Dies hängt sicher mit einer schwachen aktuellen Fe-Freisetzung zusammen, doch muss auch die von SCHWERTMANN (1966) beschriebene Hemmung der Alterung amorpher Fe-Gele durch organische Substanz berücksichtigt werden, da die C-Gehalte der Deckschicht wesentlich höher liegen als in den Barroböden und in den vertisol-ähnlichen Bildungen. Sie betragen in der Deckschicht im allgemeinen um 1 %, einzig im Profil Hueyotlipan konnten deutlich höhere Gehalte festgestellt werden (C-Gehalt ca. 3 %, $\text{Fe}_\text{O}/\text{Fe}_\text{d}$ ca. 0,4 !).

Ein ausgeprägtes Korngrößenmaximum ist nicht feststellbar; der Hauptanteil (meist um 70 %) wird von den Fraktionen Mittelsand, Feinsand und Grobschluff eingenommen (Ausnahme: Profil Hueyotlipan; hier ist weniger Mittelsand, dafür aber mehr Mittelschluff vorhanden). Der Grobsand tritt zurück, es können aber immer geringe Anteile nachgewiesen werden. Gröberes Material fehlt hingegen völlig. Die Vermutung, dass es sich bei der Deckschicht um ein äolisches Sediment handelt, wird durch diese Befunde weiter erhärtet.

In den Fällen, in denen die Deckschicht in grösserer Mächtigkeit vorliegt, sind nur geringe vertikale Differenzierungen feststellbar, die zudem meist nicht durch eine Bodenbildung

(Ausnahme: C-Gehalte), sondern durch Schichtung bedingt sind. Einzig die im untersten Teil öfters beobachtbaren Staunässemerkmale spiegeln sich in erhöhten Mn-Gehalten wider. Bedingt sind diese Staunässemerkmale durch die als Staukörper wirkenden, tonreichen obersten Horizonte der darunterliegenden Böden.

Die Tonmineralbestimmung (untersucht wurden die Deckschichten in den Profilen Hueyotlipan und San Jerónimo) ergibt im Prinzip die gleichen Resultate wie bei den Barroböden und den vertisolähnlichen Bildungen. Es dominieren ganz eindeutig die Zweischichtminerale, doch lassen sich in beiden Proben auch expandierende Dreischichtminerale nachweisen. Dabei handelt es sich sicher nicht um in-situ -Neubildungen, vielmehr dürfte der Ton bei der Sedimentation der Deckschicht mit abgelagert worden sein.

Im untersuchten Dünnschliff (er stammt aus dem Profil Hueyotlipan, Abb.41) sind zwei Bereiche zu unterscheiden, so zum einen eine relativ dicht gelagerte Zone, in der in eine tonige Grundmasse vorwiegend im Fein- und Mittelsandbereich liegende Mineralkörner eingebettet sind, zum anderen eine Zone, wo dieses Gemisch in sehr locker gepackten Aggregaten von ca. 50 μ Durchmesser vorliegt. Das lockere Gefüge dieser Bereiche ist auf die Tätigkeit von Bodentieren zurückzuführen.

Der Dünnschliff gibt keinen direkten Beweis für eine äolische Entstehung der Deckschicht, doch können keine Merkmale gefunden werden, die eine solche ausschliessen würden.

Nach den Analysendaten und dem Geländebefund sind in der Deckschicht ausser einer Anreicherung organischer Substanz und der damit verbundenen Tätigkeit von Bodenlebewesen kaum andere bodenbildende Prozesse abgelaufen. Die Interpretation des Dünnschliffs steht mit diesen Befunden im Einklang.

7.2. Diskussion II

Wurden im Abschnitt 7.1. die in den untersuchten Profilen nachgewiesenen Gesetzmässigkeiten herausgestellt, wird in diesem Abschnitt auf die Besonderheiten der einzelnen Profile eingegangen. Sofern die entsprechenden Untersuchungen durchgeführt wurden, wird versucht, die Tonminerale etwas genauer zu kennzeichnen, ebenso soll eine kurze mikromorphologische Charakterisierung des Ausgangsmaterials (soweit aus den Proben der untersten Horizonte darauf geschlossen werden kann) gegeben werden, ohne allerdings auf mineralogische Fragen einzugehen.

Eine Einordnung der Böden in die amerikanische Bodenklassifikation (USDA 1960, 1967, im folgenden als 7th Approximation bezeichnet) wurde vorgenommen. Diese Einstufung kann allerdings nicht als definitiv gelten, da etliche zur Klassifikation notwendige Laboruntersuchungen nicht durchgeführt wurden. Bei den fossilen Böden wird auf eine Klassifizierung verzichtet, da sich unter dem Einfluss des Faktors Zeit vor allem die ehemaligen Epipedons stark verändert haben.

7.2.1. Profil Puebla

Der vertisolähnliche Boden ist in einem Kolluvium vulkanischer Aschen ausgebildet. Daraus erklären sich die Körnungsinhomogenitäten in einer Profiltiefe von 200 cm. Der starke Anstieg der Sandfraktion in einer Tiefe von 310 cm ist hingegen eine Folge der Bodenbildung; die Sandfraktion besteht hier zu einem grossen Teil aus Fe-Mn-Konkretionen. Der Grundwasserstand betrug zur Zeit der Probenentnahme 340 cm u.O., wie aber im Profil zu erkennen ist, kann das Grundwasser periodisch wesentlich höher stehen.

Die Verteilung des Gesamt-Fe, -Al, -Ti, -Mn und -Si, aber auch der einzelnen Fraktionen, kann als charakteristisch gelten. Die bei 310 cm zu beobachtende Zunahme des Fe und Mn (sowohl die Gesamtgehalte als auch die Fraktionen) ist auf Grundwassereinfluss zurückzuführen; sie läuft parallel der im Gelände festgestellten und in den Analysen gemessenen Zunahme

an Fe-Mn-Konkretionen. Der Aktivitätsgrad wird allerdings dadurch nicht beeinflusst. Die im gleichen Horizont verringerten Si_t - und noch deutlicher die Si_{OH} -Gehalte weisen auf eine laterale Wegfuhr von Kieselsäure hin.

An der Untersuchungsstelle ist kein Tepetate ausgebildet, was aber auf die Topographie zurückzuführen ist, da in der weiten Ebene keine Erosionskräfte auf den Boden einwirken und damit die tepetatebildenden Horizonte nicht an die Oberfläche gelangen, austrocknen und verhärten können. Gerade die Verteilung der amorphen Kieselsäure (Si_{OH}) zeigt aber, dass auch in diesem Boden die tieferen Horizonte bei Erosion tepetatebildend wären. Dies konnte im Gelände nachgewiesen werden: An Stellen höherer Erosionsenergie ist dieser Boden mit Tepetate vergesellschaftet.

Die C-Gehalte steigen nach oben hin kontinuierlich an und erreichen im obersten tonreichsten Horizont ein Maximum von 0,4 %.

Für eine Klassifikation nach der 7th Approximation sind folgende Charakteristika entscheidend: Der Boden zeigt im Gelände deutliche Vertisoleigenschaften; die Tongehalte liegen allerdings etwas unter den Grenzwerten (in den obersten 100 cm in jedem Subhorizont mindestens 30 % Ton), die für eine Einstufung in die Order 2 (Vertisols) verlangt werden. Ordnen wir den Boden trotzdem den Vertisols zu, so gilt als Kriterium für die nächsttiefere Kategorie das Vorhandensein von Spalten. Wir dürfen annehmen, dass der Boden, falls er nicht unter der Deckschicht begraben wäre, während der Trockenzeit solche Spalten aufwiese, die sich während der Regenzeit schliessen würden. Infolgedessen kommt für diesen Boden die Suborder Ustert in Betracht. Aufgrund seiner dunklen Farben gehört er zur Great Group der Pellusterts, innerhalb derer er der Subgroup der Paleustollic Pellusterts zugeordnet werden kann.

Hält man sich streng an die Bestimmungen der 7th Approximation, sind die Tongehalte für eine Einstufung als Vertisol zu gering; der Boden gehört daher aufgrund seines Mollic Epipedon*

* Für einen Mollic Epipedon sind die C-Gehalte etwas zu tief, es darf aber angenommen werden, dass sie vor der Sedimentation der Deckschicht höher lagen.

in die Order 5 (Mollisols). Da der Boden zu gewissen Zeiten im Jahr wassergesättigt ist, kann er in die Suborder der Aquolls eingestuft werden, obwohl allerdings die dafür notwendigen Farbkriterien nicht ganz erfüllt sind. Ein Horizont mit starken Tonbelägen, der mit gewissen Einschränkungen als Argillic Horizon bezeichnet werden kann, bedingt die Zugehörigkeit zur Great Group der Argiaquolls. Innerhalb dieser Great Group wird er aufgrund seiner Vertisoleigenschaften der Subgroup Vertic Argiaquoll zugeordnet.

Die Deckschicht ist in ihrer Körnung etwas gröber und vor allem viel mächtiger als sonst üblich. Beide Phaenomene erklären sich dadurch, dass das Profil noch im direkten Ablagerungsbereich der jüngsten Bims- und Aschenausbrüche des Popocatepetl liegt (KNEIB et al. 1973), die einige Kilometer weiter westlich schon für Ablagerungen von mehr als einem Meter Mächtigkeit verantwortlich sind (AEPPLI 1972, AEPPLI u. SCHÖNHALS 1973). Die Körnungsinhomogenitäten weisen auf den mehrschichtigen Aufbau der Deckschicht hin; auch dies ist eine Folge der verschiedenen jüngsten Ausbrüche. Der C-Gehalt entspricht in seiner Verteilung einer in-situ-Bildung: Nach Ablagerung der Deckschicht hat in ihr eine Bodenbildung stattgefunden. Die Analysendaten lassen keine Aussage zu, wie weit am Aufbau der Deckschicht im Profil Puebla auch eine äolische Komponente beteiligt ist.

7.2.2. Profil Hueyotlipan

Auch dieser vertisolähnliche Boden ist in einem Kolluvium vulkanischer Aschen ausgebildet, worauf einige Unregelmäßigkeiten in der Korngrößenverteilung hinweisen. Diese Unregelmäßigkeiten werden allerdings von den durch die Bodenbildung verursachten Differenzierungen, die als charakteristisch anzusehen sind, bei weitem übertroffen.

Bei der Interpretation der Resultate ist darauf zu achten, dass die Analysendaten der untersten Probe (Entnahmetiefe 200 cm) nur bedingt mit den übrigen übrigen Werten verglichen werden können, da diese Probe ca. 10 m vom eigentlichen Profil an der Tepetate-Oberfläche entnommen wurde. Deshalb sind in die-

ser Probe die Si_t -, Si_{OH} - und $\text{Si}_{\text{H}_2\text{O}}$ -Gehalte etwas niedriger als im darüberliegenden Horizont, was auf eine erneute Kieselsäurewegfuhr schliessen lässt. Daneben spielen sicher Alterungsprozesse eine Rolle, die die Löslichkeit der Kieselsäuregele gegenüber den Extraktionsmitteln herabsetzen.

Der Tepetate ist in diesem Boden sehr kompakt und erweist sich gegenüber der Erosion als sehr resistent. Die dichte Lagerung der unteren tepetatebildenden Horizonte wird vor allem im Dünnschliff sichtbar (Abb. 36, 39); bei den wenigen grösseren Hohlräumen handelt es sich um Anschnitte von Schwundrissen. Das Material besteht aus einer dichten Grundmasse, in die zahlreiche Mineralkörner von 50-100 μ , vereinzelt auch von 1-2 mm Durchmesser, und etliche Bruchstücke vulkanischer Gläser eingebettet sind. Gläser und Minerale zeigen auch im untersten Horizont bereits Verwitterungserscheinungen; ebenfalls sind zahlreiche Merkmale einer Bodenbildung wie Toneinschlammung und Fe-Mn-Konkretionen vorhanden.

Auffallend ist im Gelände die grosse Ähnlichkeit zum vertisolähnlichen Boden im Profil Puebla, die sich auch auf das Ausgangsmaterial erstreckt. Allerdings sind im Chemismus, soweit aus den unteren Horizonten auf das Ausgangsmaterial geschlossen werden darf, gewisse Unterschiede vorhanden. So liegen in den unteren Horizonten im Profil Puebla die Si_t -Gehalte etwas tiefer, die Fe_t - und Al_t -Gehalte etwas höher als im Profil Hueyotlipan.

Nach den Ergebnissen der Tonmineralanalyse dominieren Zwei- und aufweitbare Dreischichtminerale. Die Dreischichtminerale verhalten sich je nach Profiltiefe unterschiedlich. Ca-belegt zeigen sie im unteren Profilbereich einen ziemlich diffusen 18 Å-Peak, nach einer Glycerinbehandlung weiten sie auf. K-belegt kontrahieren die Minerale auf einen Basisabstand von 10 Å, der durch anschliessende Glycerinbehandlung kaum aufgeweitet wird. Im II A_h -Horizont beträgt der Basisabstand der Ca-belegten Minerale 18 Å; auch hier führt die Glycerinbehandlung zu einer Aufweitung. Auf eine K-Belegung bei Zimmertemperatur erfolgt keine Kontraktion, erst die anschliessende Erhitzung auf 80°C ergibt Peaks im Bereich von 10-14 Å. Beim vorliegenden,

stark expandierenden Dreischichtmineral handelt es sich wahrscheinlich um einen Illitabkömmling, der in den oberen Horizonten die Eigenschaften des Illits schon weitgehend verloren hat.

Nach der 7th Approximation ist eine Einstufung dieses Bodens wegen der zu geringen Tongehalte in die Order 2 (Vertisols) nicht möglich. Der tepetatebildende Horizont, der als Duripan angesprochen werden muss, spielt für die Klassifizierung keine Rolle, da er tiefer als 1 m unter der Oberfläche liegt. Die Kriterien für eine Klassifikation sind somit gleich wie im Profil Puebla, der Boden ist daher ebenfalls als Vertic Argiaquoll zu bezeichnen.

Die Deckschicht besteht hauptsächlich aus den Fraktionen Feinsand, Grob- und Mittelschluff, sie ist damit etwas feiner gekörnt als sonst üblich. Auch dieser Befund spricht für eine äolische Herkunft der Deckschicht. In der näheren Umgebung sind keine grösseren Schwemmlandflächen vorhanden; das Material muss daher über grössere Distanzen herantransportiert worden sein, wodurch die gröberen Fraktionen aussortiert wurden. Die C-Gehalte liegen höher als in den Profilen des eigentlichen Beckenbereichs. Möglicherweise ist dies auf das etwas trockenere Klima im Block von Tlaxcala zurückzuführen, sofern durch die längeren Trockenperioden die Abbauprozesse schon gehemmt sind. Allerdings ist die Ackerbaugeschichte unbekannt; falls das Profil ackerbaulich nicht genutzt wurde, können die Unterschiede auch darauf zurückzuführen sein.

Die Ansprache des $A_h/II A_h$ als Mischhorizont wird durch die Daten der Korngrössenanalyse und des Gesamtaufschlusses bestätigt; die Werte des $A_h/II A_h$ liegen jeweils zwischen den Werten des A_h - und des $II A_h$ -Horizontes.

7.2.3. Profil Xaltocan

Bei der Interpretation der Resultate des Profils Xaltocan ist darauf zu achten, dass nach erfolgter Bodenbildung Erosion eingesetzt hat. Dabei wurde der ursprüngliche Boden bis auf den $III S_{wd}B_t$ -Horizont, der leicht tepetatebildend ist, abgetragen. Anschliessend wurde relativ toniges Material, das an

anderer Stelle offensichtlich schon eine Bodenbildung durchgemacht hatte, abgelagert. In diesem Material kam es noch zu einer schwachen Differenzierung in einen II A_h- und einen: II B_t-Horizont. Die Deckschicht hat eine Mächtigkeit von 40 cm; sie dürfte fluvial umgelagert und zusammengeschwemmt sein.

Infolge dieser vielfältigen Umlagerungen soll das Profil nicht näher besprochen werden. Es entspricht in etwa dem Boden im Profil Hueyotlipan; auch zeigen sich in den Analysenergebnissen keine Widersprüche zu den bisherigen Feststellungen. Auf den Versuch einer Klassifizierung wird ebenfalls verzichtet.

7.2.4. Profil Metepec

Im Profil Metepec folgen zwei gut ausgebildete Böden übereinander. Bei der ersten Profilaufnahme wurde dies nicht erkannt und die Probenserie daher nur dem oberen Barroboden und der Deckschicht entnommen. Erst die zweite Probenserie umfasst auch den tieferliegenden fossilen Barroboden, der tepetatebildend ist. Beide Böden werden im folgenden getrennt besprochen.

Die auffallendste Eigenschaft des fossilen Barrobodens im Gelände ist die hohe Zähigkeit seiner obersten tonreichen Horizonte, die bei Austrocknung stark verhärteten. Dieses Verhalten dürfte mit der dichten Lagerung und dem Kohärentgefüge in Zusammenhang stehen.

Die Gesamtgehalte, aber auch die einzelnen Fraktionen zeigen kaum eine Differenzierung, so dass sich Verlagerungsvorgänge nicht nachweisen lassen. Vergleiche mit dem tepetatebildenden Horizont sind allerdings nicht ohne weiteres möglich, da die entsprechende Probe von der heutigen Tepetateoberfläche stammt. Das Zerfallsverhalten des Tepetate ist normal (in HCl kein, in H₂O ein schwacher und in NaOH ein rascher und vollständiger Zerfall); Kieselsäure ist also an der Verkittung beteiligt und wahrscheinlich hat auch in diesem Boden ein nach unten gerichteter Kieselsäuretransport stattgefunden.

Der hier beschriebene fossile Barroboden hat grosse Ähnlichkeit mit dem in Schicht 5 des Profils San Jerónimo ausge-

bildeten Boden. Das gleiche trifft für den in beiden Böden vorhandenen Tepetate zu, was sich auch im Dünnschliff feststellen lässt (Abb. 43 u. 44). Bei der Diskussion der Schicht 5 wird auf diese Übereinstimmung noch näher eingegangen.

Die Tiefenfunktionen der Gehalte der einzelnen Elemente und Fraktionen zeigen im oberen Barroboden den im ersten Teil der Diskussion als typisch beschriebenen Verlauf, so dass sich eine nähere Erläuterung erübrigt. Ein Tepetate ist allerdings an der Entnahmestelle trotz nach unten zunehmender Si_{OH} -Gehalte nur schwach ausgebildet; dies dürfte damit zusammenhängen, dass der darunterliegende Boden sehr erosionsresistent ist und damit ein Abtrag bis auf ihn erfolgte.

Der obere Barroboden weist nach der 7th Approximation ausser einem Ochric Epipedon und einem Cambic Horizon keine weiteren Diagnostic Horizons auf. Die Tonverlagerung ist in den typischen Barroböden schwächer als in den vertisolähnlichen, die Kriterien für einen Argillic Horizon sind damit kaum mehr erfüllt. Daher ist der Boden in der Order 3 (Inceptisols) einzustufen. Aufgrund der mittleren Jahresbodentemperatur ($>8^{\circ}\text{C}$) und ihrer jährlichen Schwankungen ($<5^{\circ}\text{C}$) sowie der beiden Diagnostic Horizons gehört er in die Suborder der Tropepts. Die Great Group kann nicht mit Sicherheit bestimmt werden, da nicht bekannt ist, ob der Boden bei Fehlen der Deckschicht in den meisten Jahren während 90 aufeinanderfolgenden Tagen in mindestens einem Horizont austrocknen würde. Trifft dies zu, ist er den Ustrophepts, im anderen Fall den Eutrophepts zuzuordnen. Als Subgroup kommen entweder die Vertic Ustrophepts oder die Vertic Eutrophepts in Frage; allerdings sind die Bedingungen für das Adjektiv Vertic nicht voll erfüllt.

Die Deckschicht ist relativ mächtig (40 cm) und lässt sich aufgrund ihrer Körnung in zwei Schichten unterteilen. Nach der Lage im Gelände sind fluviatile Umlagerungen nicht auszuschliessen; die Zweischichtigkeit und die grössere Mächtigkeit dürfte darauf zurückzuführen sein.

7.2.5. Profil San Jerónimo

Das Profil San Jerónimo setzt sich aus mindestens fünf Schichten zusammen, in denen jeweils ein Boden mit Tepetate entwickelt ist. Die durchgeführten Analysen sollten Antwort auf die Frage geben, ob sich die im Gelände festgestellte Ähnlichkeit zwischen den fossilen Böden und den rezenten Barroböden auch in den chemischen Kenndaten widerspiegelt, zusätzlich sollten weitere Hinweise zur Tepetate-Bildung gewonnen werden. Fragen zur Stratigraphie treten hingegen in den Hintergrund; die vorliegenden Daten können daher keine Antworten zu dem im Abschnitt 4.6. kurz skizzierten Problemkreis geben.

7.2.5.1. Schicht 1

Die Schicht 1 wurde schon im Abschnitt 4.6. in die Schichten 1a und 1b unterteilt, in denen je eine Bodenbildung abgelaufen ist. Die Grenze zwischen den beiden Böden wird in der Korngrößenverteilung und in den Resultaten des Gesamtaufschlusses sichtbar.

Im Boden in Schicht 1a zeigen die Tiefenfunktionen der einzelnen Gehalte und Fraktionen den als typisch beschriebenen Verlauf. Unterschiede im Ausgangsmaterial, die sich vor allem in der Korngrößenverteilung widerspiegeln, wurden durch die Bodenbildung mehr oder weniger überdeckt. Hinweise auf eine Fe-Verlagerung geben die im obersten Horizont deutlich niedrigeren Fe_2O_3 -Gehalte.

Obwohl der Tepetate im Gelände gut ausgebildet und in trockenem Zustand sehr stark verhärtet ist, steigt der Si_{OH} -Gehalt nach unten hin nur relativ wenig an, um im untersten Horizont stark abzusinken. Dies steht in Übereinstimmung mit dem Zerfallsverhalten. Der unterste Horizont zerfällt in allen angewandten Lösungsmitteln sofort, Proben aus dem mittleren Bereich hingegen sind in HCl relativ stabil; dies bedeutet, dass zumindest in diesem Bereich Kieselsäure an der Verkittung mit beteiligt ist. Im untersten Horizont kam es offenbar durch Stauwasser (als Staukörper wirkt die tonreiche Schicht 0)

zu einer lateralen Wegfuhr der Kieselsäure, wie wir sie aus dem Profil Puebla und der im nächsten Kapitel zu besprechenden Schicht 2 kennen.

Die wenig differenzierten Si_{OH} -Konzentrationen lassen auf geringe Unterschiede in den Gehalten an amorpher Kieselsäure zwischen den einzelnen Horizonten schliessen. Dadurch tritt die im Absatz 7.1.8.2. beschriebene Beziehung zwischen Tongehalt und wasserlöslichem Si deutlich hervor, wie aus der recht engen positiven Korrelation zwischen Ton- und $\text{Si}_{\text{H}_2\text{O}}$ -Gehalten ersichtlich ist.

Aus der Schicht 1b wurden nur zwei Proben untersucht. Die Unterschiede zwischen den Analysendaten sind nur teilweise sicherbar; ausserdem kann nicht abgeschätzt werden, ob diese Differenzierungen durch die Bodenbildung oder durch eine Schichtung verursacht wurden.

7.2.5.2. Schicht 2

Der Boden in Schicht 2 entspricht in den Analysendaten dem typischen Barroboden und soll nicht näher besprochen werden.

Die hohe Stabilität des Tepetate in HCl und H_2O steht mit dem starken Anstieg der Gehalte an laugelöslicher Kieselsäure im unteren Profilbereich in Einklang; wie wichtig die Kieselsäure als Bindemittel zu bewerten ist, zeigt die unterste Probe, wo es wie in Schicht 1a zu einer lateralen Wegfuhr von Kieselsäure gekommen ist. Diese Probe zerfällt im Gegensatz zum mittleren Bereich auch in HCl und H_2O sofort.

7.2.5.3. Schicht 3

Wie die Abb. 8 im Abschnitt 4.6. zeigt, sind zwischen den Schichten 2 und 4 eine oder zwei tepetatebildende Schichten zu finden, wobei der Tepetate immer relativ schwach entwickelt ist. Im hier untersuchten Profil ist nur ein Boden mit dem zugehörigen Tepetate vorhanden.

Nur nach den Tongehalten in den obersten Horizonten wäre die Bodenbildung als recht intensiv anzusprechen, doch sind die Tongehalte auch in den unteren Horizonten relativ hoch.

Wahrscheinlich war schon das Ausgangsmaterial tonreicher als in den anderen Schichten.

Im Gesamtaufschluss lassen sich ausser nach oben schwach ansteigenden Fe-Gehalten keine Differenzierungen nachweisen. Die nach unten zunehmenden Si_{OH} -Gehalte sprechen allerdings für einen stattgefundenen Kieselsäuretransport; auch ist der Horizont mit den höchsten Si_{OH} -Gehalten schwach tepetatebildend. Das Zerfallsverhalten konnte nicht überprüft werden, da die entnommenen Strukturproben den Transport nicht überstanden.

Auch die Al_{OH} -, Al_d - und, etwas schwächer, die Fe_d -Gehalte steigen nach unten an. Damit wurden in diesem Profil auch Al und Fe verlagert. Diese Verlagerung erklärt, warum in den Gesamtgehalten eine Differenzierung kaum festgestellt werden kann.

7.2.5.4. Schichten 4, P und 5

Anzeichen einer Bodenbildung im bisher besprochenen Sinne können in der Schicht 4 nicht gefunden werden. Sie wurde offenbar kurz nach ihrer Ablagerung vom daraufliegenden Bims P und dann von Schicht 5 überdeckt. Trotz Fehlens eines Barrobodens ist die ganze Schicht tepetatebildend. Allerdings weicht das Zerfallsverhalten etwas von der Norm ab. Wohl wird der Tepetate in H_2O deutlich weicher und ist in HCl stabil, doch zerfällt er auch in NaOH nicht vollkommen. Dominierendes Bindemittel ist wahrscheinlich auch hier die Kieselsäure, doch liegt aufgrund der hohen Fe_d -Werte die Vermutung nahe, dass auch Fe-Oxide und -Hydroxide an der Verkittung beteiligt sind.

Auch in dieser Schicht zeigen die Si_{OH} -Gehalte eine nach unten deutlich zunehmende Tendenz. Da die ganze Schicht 4 von vielen Grobporen durchsetzt ist und auch die beiden aufliegenden Schichten P und 5 aufgrund ihrer Porenverteilung eine hohe Wasserdurchlässigkeit aufweisen, darf angenommen werden, dass ein abwärts gerichteter Wassertransport durch das ganze Schichtpaket 4, P und 5 stattgefunden hat. Zum einen kann dadurch Kieselsäure aus den oberen Schichten in die Schicht 4 transportiert worden sein, andererseits ist es aber auch möglich, dass das Sickerwasser innerhalb der Schicht 4 zur feststellbaren Differenzierung in den Gehalten an laugelöslicher

Kieselsäure geführt hat.

Die gröbere Körnung der Schicht P ist auf den hohen Bimsanteil zurückzuführen. Die Gehalte an freien Oxiden und die Tonbeläge in den zahlreichen Grobporen sprechen dafür, dass auch in dieser Schicht bodenbildende Prozesse abgelaufen sind.

Proben aus der Schicht 5 wurden an drei Stellen entnommen. Die Proben aus dem tepetatebildenden Horizont stammen von der Entnahmestelle B, während von den oberen Horizonten je eine Probenserie (mit Parallelen) an den Stellen C und E entnommen wurde. Der Vergleich der oberen Horizonte mit dem tepetatebildenden Horizont (B_{tv2}) ist daher aufgrund der Streuung der Eigenschaften im Gelände und der Tatsache, dass der Tepetate an der Entnahmestelle schon längere Zeit an der Oberfläche lag, nur bedingt möglich.

Besonders gut war der Boden an der Entnahmestelle C erhalten, weshalb auch die Analysendaten dieser Proben als Grundlage für die folgende Besprechung dienen.

Der Tepetate in Schicht 5 weist ein hohes Grobporenvolumen auf. Durch das ganze Material ziehen sich ausserordentlich viele röhrenförmige Poren von 0,5-2 mm Durchmesser. Zusammen mit der gelbbraunen Farbe bewirkt diese Eigenschaft die grosse Ähnlichkeit mit dem Tepetate des fossilen Bodens im Profil Metepec, die auch im Dünnschliff (Abb. 43 u. 44) festgestellt werden kann. In beiden Tepetaten ist eine relativ dicht gelagerte Grundmasse von einem engen Netz von Poren mit 0,5 - 2 mm Durchmesser durchzogen. In die Grundmasse sind viele Mineralkörner von 50-100 μ , wenige auch von bis zu 2 mm Durchmesser eingelagert, die deutlich angewittert sind. Die mineralogische Zusammensetzung der beiden Proben ist allerdings unterschiedlich (HEIDE-WEISE 1973). Dafür sind bei beiden die Poren mit Tonbelägen ausgekleidet, die besonders in der Schicht 5 eine sehr hohe Orientierungsdoppelbrechung zeigen (Abb.35).

Aber auch die oberen Horizonte der beiden Böden sind sehr ähnlich. Beide haben eine intensiv dunkelrotbraune Farbe und besonders der oberste Horizont ist ausserordentlich kompakt; Grobporen sind dann keine mehr vorhanden. In diesem Horizont

sind in der Schicht 5 Spalten zu finden, die mit Material aus Schicht 6 angefüllt sind.

Die durch die Bodenbildung bedingte Profildifferenzierung lässt sich allerdings in den Analysendaten der Schicht 5 nicht immer nachweisen. Das liegt zum Teil daran, dass das Profil von zwei Stellen stammt (B und C), für die statistische Verrechnung aber nur die bei C entnommenen Proben verwendet werden konnten.

Trotz dieser Einschränkung sind die Ergebnisse der Korngrößenanalyse gesichert; sie ergeben die für die Barroböden typischen Tiefenfunktionen.

Im Gesamtaufschluss lässt sich ein signifikanter Anstieg in Richtung auf die oberen Horizonte nur für das Al nachweisen, die Anstiege des Fe, Mn und Ti sind nicht gesichert. Würden allerdings die drei aus dem tepetatebildenden Horizont stammenden Proben auch berücksichtigt, könnten die Resultate wohl als gesichert gelten. Der Si_t -Gehalt zeigt hingegen keine Beziehung zur Profiltiefe.

Aufgrund der statistisch gut gesicherten Unterschiede in den Si_{OH} -Gehalten (sie steigen nach unten an) darf aber trotzdem angenommen werden, dass eine Kieselsäureverlagerung in die unteren Horizonte stattgefunden hat. Die Resistenz des Tepetate gegen HCl und H_2O bestätigt diese Annahme, allerdings sind wie in Schicht 4 auch Fe-Oxide und -Hydroxide an der Verkittung beteiligt, da der Tepetate auch in NaOH nicht vollkommen zerfällt.

Dass trotz der Kieselsäureverlagerung eine relative Anreicherung der übrigen Elemente nur bedingt nachweisbar ist, dürfte mit Verlagerungsvorgängen des Fe und des Al zusammenhängen. Sowohl die Fe_O - als auch die Al_{OH} -Gehalte nehmen nach unten zu, was als Indiz für einen nach unten gerichteten Transport gewertet werden darf.

Nach den tonmineralogischen Untersuchungen dominieren auch in diesem Boden Zwei- und Dreischichtminerale. Letztere sind generell schlecht kristallisiert und ergeben keine scharfen Peaks. Immerhin lässt sich aus den Diagrammen ablesen, dass sie vor allem in den unteren Horizonten einen 10 Å-Peak auf-

weisen, der sich durch K-Belegung deutlich verstärken und durch anschliessende Glycerinzugabe kaum aufweiten lässt. Auch im oberen Profilbereich tritt nach einer K-Belegung der 10 Å-Peak auf, doch ist er wesentlich schwächer, während zahlreiche Peaks im Bereich über 14 Å erscheinen. Es handelt sich damit auch in diesem Boden um schlecht definierte, stark aufweitbare Dreischichtminerale, die möglicherweise vom Illit abstammen.

Aufgrund der tonmineralogischen Untersuchungen dürfen diesem Boden gewisse Vertisoleigenschaften zugesprochen werden, die sich im Gelände allerdings nur noch durch die mit Fremdmaterial gefüllten Spalten und durch das Fehlen der Grobporen im obersten Profilbereich bemerkbar machen. Auch die Dünnschliffe ergeben keine Hinweise auf aktuelle Quellungs- und Schrumpfungsvorgänge. Dies dürfte daran liegen, dass der Boden von jüngeren Schichten überdeckt ist und damit infolge eines ausgeglichenen Feuchtigkeitsstatus in unverändertem Quellungszustand bleibt. Eine zusätzliche Rolle spielen aber sicher auch die gegenüber den rezenten Barroböden niedrigeren Tongehalte.

Aufgrund all dieser Ergebnisse darf angenommen werden, dass auch in diesem Boden die für die Barroböden typischen Prozesse abgelaufen sind. Seine Ähnlichkeit mit dem fossilen Barroböden im Profil Metepec sollte bei zukünftigen stratigraphischen Untersuchungen in diesem Gebiet berücksichtigt werden.

7.2.5.5. Schicht 6

Der Boden in Schicht 6 ist auch aufgrund der Analysendaten als typischer Barroboden anzusprechen. Einzig im obersten Profilbereich hat neben der Kieselsäureverlagerung auch ein abwärtsgerichteter geringer Transport von Al, Fe und Mn stattgefunden, wie aus den Tiefenfunktionen der Al_{OH^-} , Fe_d und Mn_d -Gehalte hervorgeht. Daher bleiben in diesem Bereich die Gesamtgehalte dieser Elemente in etwa konstant und sinken erst in den tieferen Horizonten ab.

Wie der Dünnschliff (Abb. 42) zeigt, unterscheidet sich das Ausgangsmaterial deutlich von dem der übrigen mikromorphologisch untersuchten Profile. Auffallendstes Merkmal des tepe-tatebildenden Horizontes ist ein sehr hoher Anteil von Bruch-

stücken aus vulkanischem Glas, die in sperriger Packung zueinander stehen. Zusätzlich sind zahlreiche, nur wenig angewitterte Mineralkörner vorhanden, deren Durchmesser im allgemeinen bei 50-100 μ liegen, vereinzelt aber auch bis zu 2 mm betragen können. Der Verband scheint durch Tonbeläge mit starker Orientierungsdoppelbrechung zusammengehalten zu werden, die in Form von Menisken Brücken zwischen den einzelnen Glasbruchstücken und Mineralkörnern bilden. Anzeichen einer Aggregatbildung fehlen vollständig.

Der Gehalt an laugelöslicher Kieselsäure und das Zerfallverhalten des Tepetate deuten auf eine Mitwirkung der Kieselsäure an der Verkittung hin, die sich allerdings auch in diesem Dünnschliff nicht nachweisen lässt.

Die tonmineralogischen Untersuchungen ergaben in etwa die gleichen Resultate wie bei den übrigen Profilen, nur lassen sich bei den Dreischichtmineralen kleine Abweichungen nachweisen. So tritt, auch hier vor allem in den unteren Horizonten, bei Glycerinbehandlung ein 14 Å-Peak auf, der bei K-Belegung auf 10 Å wandert. Damit ist möglicherweise mit einem gewissen Anteil von Vermikulit zu rechnen. Die vielen kleinen Peaks im Bereich über 14 Å zeigen aber, dass auch in diesem Boden schlecht definierte, aufweitbare Dreischichtminerale vorkommen.

Bei einer Klassifizierung dieses Bodens nach der 7th Approximation bleibt der ausgebildete Duripan (der Tepetate) ohne Bedeutung, da er tiefer als 1 m liegt. Es gelten daher die gleichen Kriterien wie beim oberen Barroboden im Profil Metepec; der Boden in Schicht 6 kann damit auch als Vertic Ustropept oder Vertic Eutropept bezeichnet werden.

7.2.5.6. Schichten 6a und 6b

Schon bei der Profilbeschreibung wurde erwähnt, dass die beiden Schichten umgelagert sind. Dieser Befund wird durch die Analysendaten bestätigt. Wie die graphischen Darstellungen zeigen, sind trotzdem die typischen Beziehungen zu erkennen, wenn sie auch häufig nicht besonders ausgeprägt sind. Da aber keine Widersprüche zu den bisherigen Resultaten auftauchen, wird auf eine nähere Besprechung verzichtet.

7.3. Diskussion III

In den Abschnitten Diskussion I und II wurden die Analysendaten ziemlich isoliert von den im Gelände gewonnenen Erkenntnissen betrachtet. In diesem dritten und letzten Teil der Diskussion wird versucht, die wichtigsten Resultate der Gelände- und Laborarbeiten zusammenfassend darzustellen.

7.3.1. Die Böden

Die Geländearbeiten und die Analysen erbrachten für alle untersuchten Böden Übereinstimmende Resultate. So bestehen zwischen den Barroböden und den vertisolähnlichen Bildungen keine grundsätzlichen Unterschiede. Auch in den fossilen Böden sind die gleichen bodenbildenden Prozesse abgelaufen. Sie können deshalb als fossile Barroböden bezeichnet werden, obwohl einige charakteristische Eigenschaften infolge des hohen Alters im Gelände häufig nicht mehr deutlich erkennbar sind.

In allen Böden hat eine meist sehr intensive Verbraunung und Tonbildung stattgefunden, und zwar am stärksten in den obersten Horizonten. Daneben sind immer Anzeichen einer Tonverlagerung vorhanden; so können auch noch in den untersten Partien der Profile Tonbeläge gefunden werden. Quantitativ tritt aber der Prozess der Tonverlagerung gegenüber dem der Verbraunung und Tonbildung zurück. Der oberste Horizont dieser Böden ist daher im strengen Sinne nicht als B_t aufzufassen, da er wohl dessen typisches polyedrisches Gefüge mit Tonbelägen (bzw. Slickensides) aufweist, aber kein Illuvialhorizont ist. Sein Ton wurde in-situ gebildet und die Beläge sind nur teilweise die Folge von Tonverlagerungsvorgängen, da durch Scherkräfte bei starker Quellung und Schrumpfung an den Oberflächen der Aggregate Anreicherungszone mit orientierten Tonen entstehen (Slickensides). Vorhandene Tonbeläge werden dabei in die Slickensides eingearbeitet. Gerade bei den typischen Barroböden mit ihren gegenüber den vertisolähnlichen Bildungen schwächeren Quellungs- und Schrumpfungsvorgängen ist daher eine Unterscheidung von Tonbelägen und Slickensides im Gelände kaum möglich. Deshalb wurden die obersten Horizonte dieser Böden mit dem Symbol B_t (bzw. $A_n B_t$) gekennzeichnet, obwohl

sie nur im morphologischen, nicht aber im genetischen Sinne als B_t -Horizonte aufzufassen sind.

Die Tonneubildung weist ihr Maximum in den obersten Horizonten auf. Eine Tonverlagerung findet statt, doch wird weniger Ton nach unten verlagert als in den oberen Horizonten neu gebildet wird. Dies ist allerdings nicht der einzige Grund, warum es nicht zur Ausbildung der für Parabraunerden typischen Tiefenfunktionen der Tongehalte kam. Der andere Faktor ist das Fehlen eines Horizontes mit Bedingungen, die auf die allein im dispergierten Zustand transportablen Ton-Kolloide flockend wirken. Die pH-Werte liegen über den gesamten Profilverlauf in der Boden-Wasser-Suspension zwischen 6 und 7. Nach SCHWERTMANN (1965) begünstigen in diesem Bereich die Ionenaktivitäten in der Bodenlösung eine Peptisation der Tone. Da aufgrund der pH-Werte anzunehmen ist, dass sich die Ionenaktivitäten in der Bodenlösung mit der Profiltiefe nicht wesentlich ändern, herrschen auch über die gesamte Profiltiefe für eine Peptisation der Tone günstige Bedingungen. Dies erklärt, dass nach den Geländebeobachtungen ein Tontransport bis in mehrere Meter Tiefe erfolgen kann. Horizonte mit flockenden Bedingungen verhindern einen Weitertransport der Tone und wirken damit gewissermassen als Barriere, oberhalb derer sich die von oben nachgelieferten Tone stauen. Dies führt in der über dieser Barriere liegenden Zone zu einer Tonanreicherung, in der beträchtlich höhere Tongehalte als in den obersten Horizonten erreicht werden können. Da offensichtlich Horizonte mit für Ton-Kolloide flockender Wirkung in den untersuchten Böden fehlen, wird der dispergierte Ton mit kontinuierlich abnehmenden Raten nach unten transportiert. Zusammen mit der nach unten ebenfalls abnehmenden Tonneubildung führt dies zu den in den Barroböden feststellbaren Tiefenfunktionen der Tongehalte.

Zwei- und stark expandierende Dreischichtminerale dominieren in allen untersuchten Böden. Der Kristallisationsgrad der Dreischichtminerale ist relativ schlecht, ausgeprägte 18 Å-Peaks (bei Ca-Belegung), die auf das Vorhandensein von Montmorillonit schliessen lassen, sind nur in den Profilen mit deutlichen Vertisoleigenschaften zu finden. Diese Böden unterscheiden sich von den typischen Barroböden zusätzlich durch einen etwas hö-

heren Tongehalt in den obersten Horizonten. Diese beiden Eigenschaften, höhere Tongehalte und das Vorkommen von mehr oder weniger gut kristallisiertem Montmorillonit, sind die einzigen in der Analyse feststellbaren Unterschiede zwischen den vertisolähnlichen Bildungen und den typischen Barroböden. Die auch in den Barroböden vorhandenen expandierenden Dreischichtminerale erklären die im Gelände und im Dünnschliff beobachtbaren Merkmale von Quellung und Schrumpfung. Die fossilen Barroböden zeigen diese Merkmale allerdings nicht mehr, was aber zu einem grossen Teil auf ihre praktisch konstant bleibenden Wassergehalte zurückgeführt werden kann. Ob diese expandierenden Dreischichtminerale als Vorstufen des Montmorillonits angesehen werden dürfen, ob sich also die Barroböden unter Umständen zu Vertisolen weiterentwickeln, kann aus den vorliegenden Ergebnissen nicht abgeleitet werden. Sicher ist jedoch, dass zwischen den untersuchten vertisolähnlichen Bildungen und den typischen Barroböden im Ausgangsmaterial gewisse Unterschiede bestehen. Dass im Untersuchungsgebiet vertisolähnliche Böden zu finden sind, ist nicht Überraschend, da die Vertisolbildung ein für die wechselfeuchten Subtropen typischer Prozess ist (GANSSEN 1972). Aufgrund ihrer Vertisoleigenschaften können die beschriebenen Böden daher mit gewissen Einschränkungen als zonale Bildungen aufgefasst werden.

Auf den Allophantest reagierten die meisten Proben negativ, doch liessen sich auch bei den Böden, die eine gewisse Reaktion zeigten, weder im Gelände noch in den Analysen Hinweise auf eine dominierende Rolle der Allophane finden; eine Verwandtschaft zu den Andosolen ist damit nicht mehr gegeben.

Bei allen Böden hat eine wenn auch quantitativ unterschiedliche Kieselsäureverlagerung nach unten stattgefunden. Dies führte in den oberen Horizonten zu einer relativen Anreicherung der nichtverlagerten Elemente (vor allem nachweisbar bei Al, Fe und Ti, mit gewissen Einschränkungen auch beim Mn), oder, anders ausgedrückt, zu nach oben hin abnehmenden $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ -Verhältnissen. Erste analytisch nachweisbare Schritte einer primären Ferrallitisierung (=Desilifizierung pyrogener Silikate, SCHMIDT-LORENZ 1971) haben damit stattgefunden, was aber

eher auf einen hohen Anteil leicht verwitterbarer vulkanischer Gläser im Ausgangsmaterial zurückzuführen ist als auf die im Untersuchungsgebiet herrschenden klimatischen Bedingungen. Es ist bekannt, dass unter einem feuchttropischen Klima aus vulkanischen Aschen häufig Oxisole (USDA 1960, 1967) entstehen (BESOAIN 1969, BURINGH 1970). Dies darf aber nicht dazu verleiten, die hier beschriebenen Böden als Initialstadien eines Oxisols aufzufassen. Gerade die Tatsache, dass in fast allen Profilen noch wenig angewitterte Mineralkörner gefunden werden, daneben aber auch der hohe Anteil an Dreischichtmineralen in der Tonfraktion zeigen deutlich, dass die Verwitterungsbedingungen nicht intensiv genug sind, um eine Weiterentwicklung dieser Böden zu Oxisolen zu ermöglichen.

7.3.2. Der Tepetate

Der Tepetate wird durch die unteren Horizonte der beschriebenen Böden gebildet und ist eine direkte Folge der Bodenbildung. Zwei Eigenschaften führen zu seiner hohen Widerstandskraft gegen Erosion. Zum einen verhindert sein grobblockiges bis kohärentes Gefüge, dass - wie in den oberen Horizonten mit ihrem aufgrund hoher Tongehalte feinpolyedrischen Gefüge - einzelne Aggregate gelockert und als solche weggeführt werden. Zum andern besitzt das tepetatebildende Material einen sehr starken inneren Zusammenhalt. Dieser beruht hauptsächlich auf der verkittenden Wirkung amorpher Kieselsäure, die in den oberen Horizonten im Laufe der Bodenbildung freigesetzt wurde und nach unten in die tepetatebildenden Horizonte gelangte. Dabei blieben allerdings die Kieselsäurekonzentrationen so gering, dass es nicht zur Ausbildung sichtbarer Krusten kam; auch bleibt das Material in feuchtem Zustand relativ weich und wird erst nach Austrocknung ausserordentlich hart. Neben der Kieselsäure können auch Tonminerale und Fe-Oxide und -Hydroxide an der Verkittung beteiligt sein.

Der Tepetate ist daher in jedem gut ausgebildeten Barroboden (und in den vertisolähnlichen Bildungen) gewissermassen präformiert, ohne dass er aber als solcher z.B. beim Aufgraben in feuchtem Zustand direkt erkannt werden kann. Erst wenn Ero-

sion einsetzt und die oberen, relativ erosionsempfindlichen Horizonte abgetragen sind, trocknet der tepetatebildende Horizont aus und entwickelt dann seine ausserordentlich hohe mechanische Festigkeit.

7.3.3. Die Deckschicht

Die Deckschicht ist eine äolische Ablagerung, die stellenweise durch Wasser umgelagert wurde. Dies darf aus den Ergebnissen der Gelände- und Laborarbeiten geschlossen werden, die nicht nur niemals einem stattgefundenen äolischen Transport widersprechen, sondern in vielen Fällen direkt mit einem solchen Transport erklärt werden können. Einzig im Gebiet westlich von Puebla sind ihr grosse Mengen jüngster Aschen und Bimse beigemischt, die vereinzelt noch in ursprünglicher Lagerung vorliegen.

Ob die Deckschicht anthropogen durch die bei der Rodung ausgedehnter Waldflächen einsetzende Winderosion entstanden ist, kann nur vermutet, aus den vorliegenden Ergebnissen aber nicht bewiesen werden. Dazu wären weitere gezielte Untersuchungen notwendig, um besonders über das Alter dieser Schicht nähere Informationen zu erhalten.

7.3.4. Vorschlag zur Nomenklatur

Obwohl alle untersuchten Böden sehr grosse Aehnlichkeiten aufweisen, sind sie nach der amerikanischen Bodenklassifikation (USDA 1960, 1967) in verschiedene Orders einzustufen, wie die angegebenen Beispiele zeigen. Es ist dies eine Folge des Aufbaus der 7th Approximation, die als Grundlage der Klassifizierung die Eigenschaften des heute vorliegenden Bodens berücksichtigt. Dabei sind für die verschiedenen Kennwerte Grenzen vorgegeben, die bei Ueber- bzw. Unterschreitung die Zuordnung des Bodens zu einer anderen Einheit bedingen. So werden die beiden vertisolähnlichen Böden in den Profilen Puebla und Hueyotlipan aufgrund geringfügig unterschiedlicher Tongehalte in die Orders der Vertisols bzw. der Mollisols eingestuft. Ebenso wird der Tepetate bei den untersuchten Böden nicht berücksichtigt, da er tiefer als 1 m unter der Oberfläche liegt; er

würde also auf die Klassifizierung erst bei geringmächtigeren Bodenprofilen Einfluss haben.

In den untersuchten Böden sind die gleichen bodenbildenden Prozesse abgelaufen; die feststellbaren Unterschiede sind daher eherquantitativer denn qualitativer Art. Es wird daher vorgeschlagen, als Oberbegriff für alle diese Böden die Bezeichnung "Barroboden" beizubehalten, um die genetischen Gemeinsamkeiten hervorzuheben. Die vertisolähnlichen Bildungen werden nach diesem Vorschlag von den Barroböden auf einer tieferen Stufe abgegrenzt; als Namen für die entsprechenden Untereinheiten bieten sich "Vertisolähnlicher Barroboden" (Profile Puebla, Hueyotlipan und Xaltocan) und "Typischer Barroboden" (Profile Metepec und Schicht 6 im Profil San Jerónimo) an. Falls zusätzliche Untersuchungen ergeben, dass auch in den im Abschnitt 4.4. beschriebenen Böden die gleichen bodenbildenden Prozesse ablaufen, können bei Einführung der Obereinheit "Barroboden" die verwendeten Namen "Schwach entwickelter Barroboden" und "Gebänderter Barroboden" zur Bezeichnung der entsprechenden Untereinheiten dienen. Wenn bei Erosion der Böden ein Tepetate entsteht, wird dieser Vorgang durch die Adjektive "tepetatebildend" bzw. "schwach tepetatebildend" gekennzeichnet. Die Bezeichnung der Böden im Hauptteil 5 erfolgte nach dem hier beschriebenen Vorschlag; für Beispiele sei daher auf ihn verwiesen. Einzig zur Bezeichnung "tepetatebildender Vertisolähnlicher Barroboden" für den Boden im Profil Puebla ist eine Erläuterung notwendig: Obwohl an der Entnahmestelle der Tepetate fehlt, wird das Adjektiv "tepetatebildend" verwendet, weil die Analysendaten und die Geländebefunde zeigen, dass auch in diesem Boden bei Erosion ein Tepetate ausgebildet würde.

Das Wort "Barro" bedeutet Lehm. Es ist daher nicht erstaunlich, dass der Begriff "Barro" schon in andern Ländern zur Bezeichnung bestimmter Böden verwendet wird. So existiert im Internationalen Boden-Museum in Utrecht, Niederlande, ein aus Spanien stammendes Lackprofil (Spain E 3) mit dem Lokalnamen "Suelo de los Barros". Es handelt sich um einen Vertisol, genauer gesagt um einen Typic Chromoxerert (nach USDA 1960, 1967).

Auch in Portugal wird der Name "Barros" zur Bezeichnung von Vertisolen verwendet (BURINGH 1970).

Der Vorschlag, die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Böden "Barroböden" zu nennen, soll trotzdem aus zwei Gründen aufrechterhalten bleiben. Zum einen wird, wie im Hauptteil 1 erwähnt, das Material der tonreichen Horizonte dieser Böden im Untersuchungsgebiet als "Barro" bezeichnet. Zum andern verbinden sich mit dem Begriff "Barroboden (=Lehmboden)" bei Unkenntnis der hier gegebenen Definition ziemlich unspezifische Vorstellungen, die zu den Eigenschaften der beschriebenen Böden nicht im Widerspruch stehen.

Zusammenfassung

Als Tepetate werden im zentralen mexikanischen Hochland vulkanische Tuffe bezeichnet, die durch Erosion an die Oberfläche gelangten und in trockenem Zustand ausserordentlich hart sind. Der Tepetate wird durch die unteren Horizonte relativ intensiv entwickelter Böden gebildet, die in der vorliegenden Arbeit Barroböden genannt werden. Sie sind im Untersuchungsgebiet, dem Hochbecken von Puebla-Tlaxcala, weit verbreitet.

Die Barroböden zeigen bei typischer Ausprägung folgende Eigenschaften: Der Grad der Verbraunung nimmt von oben nach unten kontinuierlich ab. Parallel dazu verlaufen die Tongehalte, sie erreichen ebenfalls in den obersten Horizonten ihr Maximum. Die obersten Horizonte sind gelbbrotbraun gefärbt, nach unten geht die Farbe in gelblichbraun über. Das Gefüge ist in den tonreichen oberen Horizonten feinpolyedrisch, im Unterboden grobprismatisch bis blockig. Aggregatoberflächen und Poren weisen deutliche Tonbeläge auf. Trotz dieser Merkmale einer Tonverlagerung haben die obersten Horizonte die höchsten Tongehalte, wobei aufgrund der Daten der Korngrössenanalyse der Ton überwiegend in-situ gebildet wurde. Es wird daher angenommen, dass in den obersten Horizonten die Tonneubildung die Tonwegfuhr überwiegt und dass Horizonte, in denen dipergierte Tonpartikel ausgeflockt würden, fehlen. Tonreiche Varianten zeigen deutliche Merkmale von Quellung und Schrumpfung, eine Folge der recht hohen Tongehalte (bis 40%) und des Vorkommens von stark expandierenden, allerdings relativ schlecht kristallisierten Dreischichtmineralen. Daneben treten in der Tonfraktion in grossen Mengen Zweischichtminerale auf, hingegen ist ein stärkerer Einfluss von Allophanen nicht feststellbar. Für die Barroböden ist eine Kieselsäureverlagerung von oben nach unten charakteristisch, die sich in den Si_t - und - noch deutlicher - in den Si_{OH} -Gehalten widerspiegelt. Sie führt zu einer relativen Anreicherung der übrigen nicht verlagerten Elemente in den obersten Horizonten. Besonders gut ist diese Anreicherung bei den Elementen Fe, Al und Ti, und, mit einigen Ausnahmen, auch beim Mn nachweisbar. Die Kieselsäureverlagerung

ist weniger eine Folge des herrschenden Klimas als des Ausgangsmaterials, das als vulkanische Asche viele leicht verwitterbare Gläser aufweist.

Der Tepetate wird durch die unteren Horizonte der Barroböden gebildet. Das grobblockige Gefüge dieser Horizonte verhindert einen Wegtransport ganzer Aggregate, wie er in den oberen Horizonten zu beobachten ist. Die von oben nach unten verlagerte Kieselsäure verkittet die einzelnen Bodenteilchen, was zur außerordentlichen mechanischen Festigkeit in trockenem Zustand führt. Die Konzentration an amorpher Kieselsäure ist allerdings so gering, dass Kieselsäurekrusten weder makro- noch mikroskopisch sichtbar sind. Daher ist auch die Verkittung mehr oder weniger reversibel. So wird der Tepetate bei Wiederbefeuchtung deutlich weicher und im frisch aufgegrabenen Profil sind kaum Verhärtungsunterschiede zwischen dem Ober- und dem Unterboden feststellbar.

Eng verwandt mit den Barroböden sind vertisolähnliche Bildungen, die im Untersuchungsgebiet in hellen vulkanischen Aschen vorkommen. Sie zeigen etwas höhere Tongehalte (bis 50 %), relativ gut kristallisierte Dreischichtminerale mit einem Basisabstand von 18 Å (Ca-belegt), eine dunkle bis schwarze Farbe der obersten Horizonte und deutliche Slickensides. Die unteren Horizonte sind wie bei den Barroböden tepetatebildend, doch sind infolge einer dichten Lagerung deutliche Staunässemerkmale (Fe- und Mn-Konkretionen) zu beobachten, die sich auch in einem erhöhten Aktivitätsgrad (Fe_0/Fe_3) widerspiegeln. Die übrigen Analysendaten zeigen kaum Unterschiede zu denen der Typischen Barroböden, weshalb die vertisolähnlichen Bildungen in der vorliegenden Arbeit den Barroböden zugeordnet werden.

Der Schwach entwickelte und der Gebänderte Barroboden sind wahrscheinlich Vorstufen des Typischen Barrobodens. Während der Schwach entwickelte Barroboden nur erste Anzeichen einer Verbraunung und ein schwach prismatisches bis kohärentes Gefüge aufweist, ist der Gebänderte Barroboden deutlich weiter entwickelt. Für ihn ist eine vertikale Differenzierung in Zonen mit höheren und geringeren Tongehalten charakteristisch. Diese Bänderung wird beim Typischen Barroboden wahrscheinlich durch

die höheren Tongehalte überprägt.

Im Untersuchungsgebiet konnten mindestens fünf Schichten vulkanischer Aschen nachgewiesen werden, in denen in typischer Weise ein Barroboden mit tepetatebildenden unteren Horizonten ausgebildet ist. Die Analysendaten beweisen, dass auch in diesen fossilen Böden die gleichen bodenbildenden Prozesse abgelaufen sind.

Auch die jüngsten Barroböden treten nicht bis an die Oberfläche, sondern sind von einer im Normalfall 20-30 cm mächtigen sandig-schluffigen Schicht, der Deckschicht, begraben. In der Deckschicht sind ausser einer Anreicherung an organischer Substanz kaum bodenbildende Prozesse abgelaufen. Sie ist eine äolische Ablagerung und wahrscheinlich eine Folge der bei der fortschreitenden Waldrodung verstärkt einsetzenden Winderosion. Westlich von Puebla erreicht die Deckschicht grössere Mächtigkeiten, da ihr hier grosse Mengen der bei den jüngsten Ausbrüchen des Popocatepetl geförderten Bimse und Aschen beige-mischt sind.

Der Tepetate kann nach der amerikanischen Bodenklassifikation als Duripan angesprochen werden, die Barroböden gehören je nach Ausprägung in die Orders der Vertisols, der Inceptisols oder der Mollisols. Es wird daher vorgeschlagen, den Namen "Barroboden" als Oberbegriff beizubehalten, falls die genetischen Gemeinsamkeiten der beschriebenen Böden stärker herausgestellt werden sollen.

Literaturverzeichnis

- AEPPLI, H.: Aclaraciones Acerca del Diseño del Mapa de los Suelos de la Cuenca de Puebla-Tlaxcala. Comunicaciones Proyecto Puebla Tlaxcala 6, 7-13 (1972)
- AEPPLI, H. u. SCHÖNHALS, E.: Los Suelos en la Cuenca de Puebla-Tlaxcala. Comunicaciones Proyecto Puebla Tlaxcala 7, 15-18 (1973)
- ALTHAUS, E.: Die Atom-Absorptions-Spektralphotometrie, ein neues Hilfsmittel zur Mineralogie. N. Jb. Miner. Mh. 259-280 1966
- ALTEMÜLLER, H.-J.: Mikroskopie der Böden mit Hilfe von Dünnschliffen; in FREUND, H. (Hersg): Handbuch der Mikroskopie in der Technik, Band IV, 2. Aufl., Frankfurt a.M. z.Z. im Druck
- ALTEMÜLLER, H.-J.: Mündliche Mitteilung 1972
- ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENKUNDE: Kartieranleitung, 2. Aufl. Hannover 1971
- AVILA, H. M.: Recuperación de Suelos Erosionados de Chapingo, Mex., con Plantaciones Forestales. Tesis, Chapingo, México
- BESOAIN M., E.B.: Untersuchungen von Böden aus Pyroklastiten (Asche und Tuffe) Chiles, Japans, Deutschlands und Italiens. Diss. Bonn 1969
- BLANCO, M.G. u. RAMIREZ, C.G.: La Conservación del Suelo y el Agua en México. Ediciones del Instituto Mexicano de Recursos Renovables A. C. México 1966
- BLUME, H.-P. u. SCHWERTMANN, U.: Genetic Evaluation of Profile Distribution of Aluminium, Iron and Manganese Oxides. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33, 438-444 (1969)
- BURINGH, P.: Introduction to the Study of Soils in Tropical and Subtropical Regions. Wageningen 1970
- CORNWALL, J.W.: Estratigrafía de los Depósitos Terrestres Volcánicos y de los Suelos entre Chalco y Puebla. Bol. INAH, México 32 25-29 (1968)
- FAO: Definitions of Soil Units for the Soil Map of the World. World Soil Resources Report 33, Rome 1968
- FAO: Supplement to Definitions of Soil Units for the Soil Map of the World. Rome 1969

- FASSBENDER, H.W.: Schriftliche Mitteilung 1972
- FIELDER, M. u. The Nature of Allophane in Soils. Part
 PERROT, K.W.: 3: Rapid Field and Laboratory Test for
 Allophane. New. Z. J. Sci. 9, 623-629
 (1966)
- FLORES D., A.: Los Suelos del Estado de México. Col.
 de Postgraduados de Chapingo, México
 1970a
- FLORES D., A.: Suelos; in Proyecto Cholula 19, INAH
 México, 17-20 (1970b)
- FOSTER, M.: Geochemical Studies of Clay Minerals.
 Geochim. Cosmochim. Acta 3, 143-149
 (1953)
- GANSSEN, R.: Bodengeographie. Stuttgart 1972
- GARCÍA E., A.: Estudio de los Suelos Tepetatosos y
 las Posibilidades de su Recuperación
 Agrícola. Tesis, Chapingo, México 1961
- HASHIMOTO, I. u. Rapid Dissolution of Allophane and
 JACKSON, M.L.: Kaolinite-Halloysite after Dehydration.
 Clay and Clay Minerals 7th Conf.
 102-113, New York 1960
- HEIDE-WEISE, H.: Mündliche Mitteilung 1973
- HEINE, K.: Observaciones Morfológicas Acerca de
 las Barrancas en la Región de la Cuenca
 de Puebla-Tlaxcala. Comunicaciones Pro-
 yecto Puebla Tlaxcala 4, 7-19, (1971)
- HEINE, K. u. Estratigrafía del Pleistoceno Reciente
 HEIDE-WEISE, H.: y del Holoceno en el Volcán de la Ma-
 linche y Región Circunvecina. Comuni-
 caciones Proyecto Puebla Tlaxcala 5,
 3-8 (1972)
- HEINE, K. u. Secuencias de Erupciones en el Volcán
 HEIDE-WEISE, H.: de la Malinche y en la Sierra Nevada
 Durante los Últimos 40 000 años. Comu-
 nicaciones Proyecto Puebla Tlaxcala
7, 7-8 (1973)
- HILGER, W.: Observaciones Respecto a la Geología
 de la Región de Puebla-Tlaxcala. Comu-
 nicaciones Proyecto Puebla Tlaxcala
7, 3-6 (1973)
- ILER, R.K.: The Colloidal Chemistry of Silica and
 Silicates. Ithaca, N.Y. 1955
- JACKSON, M.L.: Soil Chemical Analysis. 2. Aufl.,
 Englewoods Cliffs 1960
- JAUREGUI O., E.: Mesoclima de la Región Puebla-Tlaxcala.
 UNAM, Instituto de Geografía, México
 1968

- JONES, L.H.P. u.
HANDRECK, V.A.: Effects of Iron and Aluminium Oxides on Silica in Solution in Soils. *Nature* 198, 852-853 (1963)
- KLINK, H.-J.: La División de la Vegetación Natural en la Región Puebla-Tlaxcala. Comunicaciones Proyecto Puebla Tlaxcala 7, 25-30 (1973)
- KNEIB, W.,
MIEHLICH, G. u.
ZOTTL, H.W.: Clasificación Regional de los Suelos de la Sierra Nevada de México. Comunicaciones Proyecto Puebla Tlaxcala 7, 11-13 (1973)
- KNOBLICH, K.: Posibilidades de Poner en Explotación Aguas Subterráneas en la Cuenca de Puebla-Tlaxcala. Comunicaciones Proyecto Puebla Tlaxcala 4, 30-32 (1971)
- LAUER, W.: Mündliche Mitteilung 1971
- LAUER, W. u.
STIEHL, E.: La Clasificación del Clima en la Región Puebla-Tlaxcala. Comunicaciones Proyecto Puebla Tlaxcala 7, 31-35 (1973)
- LLERENA, L.D.: El Distrito de Conservación del Suelo y Agua de Chapingo. Tesis, Chapingo, México 1947
- MARIN C., E.J.,
UBEDA G., E. u.
VIRAMONTE O., J.: Contribución al Conocimiento de la Génesis del Talpetate. Catastro o Inventario de Recursos Naturales, Managua, Nicaragua 1971
- McKEAGUE, J.A. u.
CLINE, M.G.: Silica in soils. Adv. in agr. 15, 339-397 (1963a)
- McKEAGUE, J.A. u.
CLINE, M.G.: Silica in Soil Solutions: I. The Form and Concentration of Dissolved Silica in Aqueous Extracts of Some Soils. *Canad. J. Soil Sci.* 43, 70-82 (1963b)
- McKEAGUE, J.A. u.
CLINE, M.G.: Silica in Soil Solutions: II. The Absorption of Monosilic Acid by Soil and by other Substances. *Canad. J. Soil Sci.* 43, 83-96 (1963c)
- MIEHLICH, G.: Veränderungen eines Lösslehm-Pseudogleys durch Fichtenreinanbau. Diss. Hamburg 1970
- MIEHLICH, G.: Mündliche Mitteilung 1973
- MIEHLICH, G. u.
KNEIB, W.: Mündliche Mitteilung 1972
- MOOSER, F.: Tefracronglogía de la Cuenca de México para los Últimos treinta mil Años. Bol. INAH México 30, 12-15 (1967)
- MUNSELL: Soil Color Charts, Baltimore 1954

- ORTIZ, S.J.: Estudio de Fertilización de Zanahoria en un Suelo de la Serie Coatlinchan- Texcoco. Tesis, Chapingo, México 1963
- REINA, R.E.: Milpas and Milperos; Implications for Prehistoric Times. Amer. Anthropologist 69, 1-20 (1967)
- SAKR, R. u.
MEYER, B.: Mineralverwitterung und -Umwandlung in typischen sauren Lockerbraunerden in einigen Mittelgebirgen Hessens. Göttinger Bodenk. Ber. 14, 1-47 (1970)
- SALAZAR, L.: Elementos de Geología. UNAM, México 192-330, 1938
- SANTAMARÍA F., J.: Diccionario de Mejicanismos. S. 1034 México 1959
- SCHACHTSCHABEL, P. u.
HEINEMANN, C.G.: Wasserlösliche Kieselsäure in Lössböden. Z. Pfl. Ern. Düng. Bodenk. 118, 22-35 (1967)
- SCHEFFER, F. u.
SCHACHTSCHABEL, P.: Lehrbuch der Bodenkunde. 7. Aufl. Stuttgart 1970
- SCHLICHTING, E. u.
BLUME, H.-P.: Bodenkundliches Praktikum. Hamburg und Berlin 1966
- SCHMIDT-LORENZ, R.: Böden der Tropen und Subtropen; in: BLANCKENBURG, P. u. CREMER, H.-D. (Hersg.): Handbuch der Landwirtschaft und Ernährung in den Entwicklungsländern. Bd. 2. Pflanzliche und tierische Produktion in den Tropen und Subtropen. Stuttgart 1971
- SCHWERTMANN, U.: Die fraktionierte Extraktion der freien Eisenoxide in Böden, ihre mineralogischen Formen und ihre Entstehungsweise. Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk. 84, 194-204 (1959)
- SCHWERTMANN, U.: Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammonium-Oxalat-Lösung. Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk. 105, 194-202 (1964)
- SCHWERTMANN, U.: Austauschbare Kationen und Dispersität von Tonen. Mitt. dtsch. bodenkundl. Ges. 4, 129-130 (1965)
- SCHWERTMANN, U.: Inhibitory Effect of Soil Organic Matter on the Crystallisation of Amorphous Ferric Hydroxide. Nature 212, 645-646 (1966)
- SEELE, E.: Die Ziegelherstellung im Becken von Puebla-Tlaxcala; in: TICHY, F.: Das Mexiko-Projekt der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Bd. 1. Berichte über begonnene und geplante Arbeiten. 194-208 Wiesbaden 1968

- SHAW, F.C.: Extracto de las Conferencias Sobre Formación, Clasificación y Utlización de los Suelos. Bol. Colégio Agrológico de Meioqui, Chihuahua, México, 24-36 1929
- STIEHL, E.: Schriftliche Mitteilung 1973
- TICHY, F.: Das Hochbecken von Puebla-Tlaxcala und seine Umgebung. Landeskundliche Einführung in das zentrale Arbeitsgebiet; in: Das Mexiko-Projekt der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Bd.I. Berichte über begonnene und geplante Arbeiten. 6-24, 1968
- TRIBUTH, H.: Mündliche Mitteilung 1972
- TRÖGER, W.E.: Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale. Stuttgart 1971
- URIBE A., E.: Transecto Ecológico de los Terrenos de la Escuela Nacional de Agricultura Lago de Texcoco - Cerro de Tlaloc. Tesis, Chapingo, México 1959
- USDA: Soil Classification. A Comprehensive System. 7th Approximation. 1960
- USDA: Supplement to Soil Classification System (7th Approximation). 1967
- VALDEZ MARIN, L.A.: Características Morfológicas y Mineralógicas de los Suelos de Tepetate de la Cuenca de México. Tesis, Chapingo, México 1970

Tabellenanhang

Profil Puebla

Tab. 23: Korngrößenverteilung (Profil Puebla)

Nr. der Probe	>2 mm %	gS %	mS %	fS %	gU %	mU %	fU %	T %
111	0,4	10,4	38,1	24,2	8,0	5,4	4,9	9,0
122	0,6	11,6	42,8	23,3	7,9	4,4	4,8	5,2
110	0,1	9,5	38,4	22,8	7,2	6,0	6,4	9,7
121	0,1	11,7	39,4	21,9	7,0	5,4	2,9	11,7
109	1,2	10,4	36,9	28,0	8,9	6,1	4,8	4,9
120	0,2	12,3	42,9	23,3	7,5	5,1	4,7	4,2
108	0,2	14,3	37,4	24,0	8,3	6,1	4,8	5,1
119	1,3	17,9	32,3	23,9	8,3	6,3	3,8	7,5
107	0,2	2,0	10,8	16,3	8,2	5,9	9,6	47,2
118	0,1	1,8	9,4	18,2	9,1	6,6	5,8	49,1
106	0,2	1,4	7,4	17,0	9,6	6,8	12,1	45,7
117	0,5	1,9	8,6	17,2	7,8	9,0	9,6	45,9
105	0,2	1,0	8,5	19,3	12,6	14,5	17,8	26,3
116	0,1	0,8	7,6	17,6	11,2	11,1	15,9	35,8
104	-	0,8	8,4	19,7	15,3	20,1	16,8	18,9
115	0,1	0,8	7,3	18,4	15,6	20,9	17,1	19,9
103	0,3	0,8	5,3	15,6	15,6	22,4	21,2	19,1
114	-	0,8	4,7	13,3	12,5	20,5	22,5	25,7
102	-	1,4	6,6	15,6	14,5	19,5	20,2	22,2
113	-	1,4	4,1	13,0	15,3	20,0	25,1	21,1
101	2,9	4,3	25,1	30,1	8,3	7,5	9,0	15,7
112	-	1,3	8,0	19,5	15,1	15,7	17,6	22,8

Tab. 24: Gesamtgehalte (Profil Puebla)

Nr. der Probe	Si % ^t	Al % ^t	Fe % ^t	Ca % ^t	Mg % ^t	Na % ^t	K % ^t	Ti % ^t	Mn ppm ^t
111	22,9	11,7	3,98	3,96	2,80	2,09	0,45	0,59	830
122	25,0	11,6	4,18	4,14	2,62	2,06	0,48	0,74	920
110	22,8	11,7	4,10	3,95	2,74	2,11	0,44	0,57	840
121	25,1	11,4	4,22	3,99	2,69	1,98	0,45	0,71	860
109	23,5	11,5	3,84	4,23	2,97	2,22	0,46	0,61	790
120	24,4	11,5	4,03	4,18	2,70	2,28	0,47	0,67	820
108	24,6	11,3	3,68	3,83	2,49	2,20	0,58	0,64	1000
119	25,4	11,4	3,86	3,70	2,13	2,01	0,50	0,66	1110
107	23,2	13,2	4,33	2,45	1,27	1,49	0,38	0,69	650
118	24,0	13,3	4,86	2,60	1,15	1,41	0,36	0,67	720
106	25,4	13,3	4,74	2,53	1,29	1,42	0,38	0,70	650
117	24,3	13,1	4,84	2,63	1,19	1,37	0,35	0,68	360
105	25,0	12,3	4,39	2,65	1,42	1,51	0,42	0,68	610
116	25,8	12,4	4,57	2,45	1,33	1,44	0,39	0,67	620
104	26,3	11,7	4,11	2,46	1,45	1,45	0,49	0,62	550
115	27,1	11,6	4,18	2,47	1,47	1,48	0,44	0,63	610
103	26,2	11,3	3,65	2,02	1,26	1,34	0,53	0,54	460
114	27,5	11,3	4,03	1,85	1,14	1,25	0,46	0,58	410
102	27,8	11,6	3,74	2,04	1,33	1,40	0,58		1000
113	29,1	11,2	3,84	1,72	1,17	1,24	0,52	0,56	660
101	25,0	11,7	4,65	3,11	1,84	1,99	0,59	0,57	2450
112	28,1	11,9	3,67	2,27	1,44	1,64	0,62	0,56	920

Tab. 25: Anteile an Konkretionen, Gesamt-Fe- und -Mn-Gehalte (Profil Puebla)

Nr. der Probe	% Konkr. (Gesamtprobe = 100 %)	Konkreteionen		konkr.-freies Material	
		% Fe	ppm Mn	% Fe	ppm Mn
108	5,38	5,18	4 130	3,59	820
119	1,35	5,53	8 830	3,84	1 000
115	0,80	4,86	10 900	4,17	530
114	0,54	5,01	14 600	4,02	330
102	1,17	5,63	40 300	3,72	540
113	1,65	4,43	16 000	3,83	400
101	5,80	7,07	26 100	3,35	1 010
112	3,66	4,64	9 300	3,63	600

Tab. 26: Fraktionierung (Profil Puebla)

Nr. der Probe	Fe _o ppm	Fe _d ‰	Al _d ppm	Al ^{OH} ‰	Si _{H2O} ‰	Si ^{OH} ‰	Mn _d ppm
111	360	1,83	530	2,61	0,43	9,7	237
122	340	1,75	460	2,40	0,37	8,8	270
110	315	1,94	530	2,90	0,58	9,9	274
121	386	1,60	480	2,71	0,47	9,6	213
109	355	1,67	530	1,95	0,38	8,0	154
120	376	1,64	460	2,26	0,33	8,5	146
108	340	3,40	670	2,87	0,50	9,7	393
119	444	3,06	615	3,56	0,53	10,3	650
107	488	2,59	1080	7,97	1,32	15,4	385
118	575	2,78	1010	8,46	1,43	15,3	488
106	529	2,21	990	6,63	1,32	18,5	404
117	560	2,40	940	7,61	1,37	18,9	403
105	225	2,29	850	5,49	1,38	22,3	332
116	422	2,17	760	6,29	1,37	23,6	368
104	299	1,37	620	4,49	1,22	24,4	263
115	315	1,29	570	5,02	1,22	25,7	291
103	294	1,44	600	3,96	1,33	25,6	224
114	325	1,52	710	4,54	1,42	26,8	282
102	365	1,44	600	4,20	1,42	24,8	748
113	350	1,29	530	4,57	1,43	27,8	459
101	812	3,64	495	3,03	1,13	15,8	2010
112	381	1,60	550	4,35	1,25	21,7	465

Tab. 27: pH-Werte, C-Gehalte (Profil Puebla)

Nr. der Probe	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	‰ C
111/122	6,6/6,7	5,2/5,3	4,05/3,70
110/121	6,8/6,7	5,2/5,3	4,02/4,20
109/120	6,8/6,7	5,2/5,1	2,87/2,74
108/119	6,8/7,0	5,2/5,2	1,68/1,36
107/118	6,9/7,1	5,2/5,3	3,68/3,60
106/117	6,9/7,1	5,2/5,3	1,71/1,77
105/116	6,8/7,1	5,2/5,3	1,37/1,44
104/115	6,7/7,0	5,1/5,2	1,22/1,02
103/114	6,7/7,0	5,0/5,3	1,21/1,09
102/113	6,7/6,9	5,1/5,3	0,83/0,88
101/112	- /6,9	4,9/5,2	0,63/0,60

Profil Hueyotlipan

Tab. 28: Korngrößenverteilung (Profil Hueyotlipan)

Nr. der Probe	>2 mm %	gS %	mS %	fS %	gU %	mU %	fU %	T %
140	-	0,3	4,8	23,9	24,4	18,4	11,0	17,2
147	-	0,3	4,4	22,9	21,5	19,8	11,7	19,4
139	-	0,9	7,6	23,3	18,3	17,5	8,6	23,8
146	-	0,9	6,0	21,0	17,1	18,7	9,5	26,8
138	-	0,5	5,3	21,1	14,4	10,6	5,3	42,8
145	-	0,7	5,7	25,4	18,0	11,6	5,4	33,2
137	-	1,5	4,2	18,2	16,3	18,3	16,3	25,2
144	-	0,9	4,8	22,6	18,8	13,7	11,5	27,7
136	1,0	1,1	4,9	16,6	18,8	23,0	15,9	19,7
143	0,1	1,5	4,5	15,2	17,2	20,9	16,6	24,1
135	-	2,0	5,9	19,5	20,2	23,3	13,8	15,3
142	-	1,7	6,1	19,8	21,7	22,5	13,4	14,8
134	-	1,1	12,8	24,2	20,4	21,2	9,3	11,0
141	-	1,4	13,7	24,1	20,2	20,8	9,5	10,3

Tab. 29: Gesamtgehalte (Profil Hueyotlipan)

Nr. der Probe	Si % ^t	Al % ^t	Fe % ^t	Ca % ^t	Mg % ^t	Na % ^t	K % ^t	Ti % ^t	Mn % ^t ppm
140	27,2	10,4	3,01	2,60	1,38	1,69	0,58	0,60	660
147	27,3	10,5	3,01	2,54	1,30	1,63	0,56	0,70	550
139	26,0	11,0	3,25	2,71	1,38	1,69	0,53	0,60	860
146	27,0	11,1	3,31	2,60	1,31	1,65	0,52	0,75	820
138	26,4	11,8	4,06	2,39	1,19	1,49	0,49	0,64	950
145	27,1	11,7	3,52	2,70	1,31	1,71	0,54	0,73	770
137	27,6	11,4	3,68	2,02	1,31	1,41	0,59	0,54	790
144	25,9	11,7	3,85	2,46	1,39	1,55	0,57	0,73	740
136	28,2	10,1	3,38	2,04	1,09	1,25	0,53	0,51	800
143	29,1	11,1	3,69	1,97	1,16	1,33	0,57	0,58	690
135	30,0	10,4	3,16	1,97	1,28	1,43	0,67	0,57	760
142	30,6	10,1	3,14	1,88	1,24	1,40	0,65	0,49	740
134	29,7	10,3	2,86	1,87	1,53	1,54	1,02	0,53	540
141	29,3	10,4	3,02	1,80	1,47	1,50	0,98	0,46	710

Tab. 30: Anteile an Konkretionen, Gesamt-Fe- und -Mn-Gehalte (Profil Hueyotlipan)

Nr. der Probe	% Konkr. (Gesamtprobe = 100 %)	Konkretionen		konkr.-freies Material	
		% Fe	ppm Mn	% Fe	ppm Mn
137	2,74	4,71	7 590	3,65	598
136	3,38	5,96	13 100	3,30	369
143	1,98	5,42	11 750	3,66	445
135	4,18	5,26	10 500	3,07	338
142	5,67	5,00	6 890	3,03	374
141	2,14	4,76	7 900	2,98	553
		% Ca	% Mg	% Ca	% Mg
136*	0,99	16,85	1,33	1,89	1,10

* Probe mit carbonathaltigen Konkretionen.

Tab. 31: Fraktionierung (Profil Hueyotlipan)

Nr. der Probe	Fe _o ppm	Fe _d ‰	Al _d ppm	Al _{OH} ‰	Si _{H2O} ‰	Si _{OH} ‰	Mn _d ppm
140	1075	3,01	1290	5,39	0,28	22,8	342
147	1157	2,94	1360	5,54	0,25	24,2	280
139	1009	3,55	1120	5,92	0,48	17,6	558
146	1009	3,21	1310	6,37	0,42	18,6	450
138	544	2,44	1140	7,40	1,18	17,5	536
145	514	2,55	970	6,23	0,98	16,7	486
137	345	1,75	830	5,31	1,37	23,6	375
144	314	1,94	890	5,44	1,18	18,7	432
136	294	2,17	680	5,20	1,48	26,4	422
143	314	1,79	780	5,12	1,60	27,4	395
135	289	2,02	680	5,57	1,48	27,3	418
142	304	1,79	640	4,96	1,55	27,4	414
134	274	1,64	660	5,49	1,05	22,7	276
141	309	1,64	700	4,91	1,13	21,5	367

Tab. 32: pH-Werte, C-Gehalte (Profil Hueyotlipan)

Nr. der Probe	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	% C
140/147	5,9/5,8	4,6/4,6	2,66/2,88
139/146	6,5/6,3	4,6/4,6	1,73/1,81
138/145	6,9/7,1	5,2/5,3	0,94/0,83
137/144	7,4/7,4	5,8/5,8	0,31/0,45
136/143	7,4/7,4	5,8/5,8	0,19/0,16
135/142	7,4/7,4	5,6/5,6	0,13/0,12
134/141	7,0/7,0	5,5/5,3	0,15/0,15

Profil Xaltocan

Tab. 33: Korngrößenverteilung (Profil Xaltocan)

Nr. der Probe	>2 mm %	gS %	mS %	fS %	gU %	mU %	fU %	T %
155	-	0,6	17,5	43,0	17,5	6,2	7,1	8,1
162	-	1,0	16,4	43,9	18,5	5,9	6,2	8,1
154	-	0,8	13,8	29,4	17,1	13,6	11,2	14,1
161	-	1,3	19,3	38,4	15,3	7,4	7,6	10,7
153	-	0,8	9,6	24,9	12,7	8,3	8,9	34,8
160	-	1,4	12,1	27,0	13,4	7,7	8,7	29,7
152	-	1,1	8,4	23,3	14,1	11,6	13,4	28,1
159	-	0,9	7,3	21,7	13,1	10,2	12,3	34,5
151	-	0,9	11,8	33,8	17,2	11,6	9,5	15,2
158	-	1,1	12,2	32,0	17,6	11,5	11,2	14,4
150	-	1,9	8,7	21,5	15,9	13,2	13,5	25,3
157	-	1,0	8,8	24,4	15,9	13,0	14,2	22,7
149	-	1,7	10,1	26,0	16,6	14,3	11,6	19,8
156	-	1,8	9,8	24,5	17,6	13,5	11,9	20,9

Tab. 34: Gesamtgehalte (Profil Xaltocan)

Nr. der Probe	Si % _t	Al % _t	Fe % _t	Ca % _t	Mg % _t	Na % _t	K % _t	Ti % _t	Mn % _t ppm
155	26,1	11,3	3,31	3,49	1,94	2,07	0,62	0,73	920
162	26,7	11,3	3,45	3,54	2,00	2,12	0,65	0,73	730
154	29,1	10,5	2,88	2,99	1,47	1,91	0,58	0,55	800
161	27,2	11,3	3,16	3,35	1,74	2,01	0,60	0,63	950
153	25,3	-	4,07	2,69	1,23	1,64	0,51	0,73	890
160	27,3	12,2	3,98	2,83	1,35	1,72	0,53	0,69	970
152	24,1	12,3	4,27	2,62	1,28	1,54	0,52	0,76	-
159	27,6	12,2	4,36	2,54	1,25	1,49	0,51	0,67	900
151	26,5	11,6	3,83	2,68	1,57	1,69	0,73	0,70	790
158	27,8	11,4	3,80	2,57	1,59	1,68	0,75	0,56	690
150	27,4	11,5	3,98	2,33	1,23	1,51	0,66	0,73	870
157	27,9	11,1	3,74	2,28	1,32	1,52	0,70	0,61	670
149	27,7	11,1	3,78	2,35	1,29	1,53	0,66	0,70	830
156	27,1	11,1	3,69	2,45	1,35	1,58	0,67	0,63	650

Tab. 35: Anteile an Konkretionen, Gesamt-Fe- und -Mn-Gehalte (Profil Xaltocan)

Nr. der Probe	% Konkr. (Gesamtprobe = 100 %)	Konkretionen		konkr.-freies Material	
		% Fe	ppm Mn	% Fe	ppm Mn
152	1,41	5,84	9 850	4,25	-
159	3,41	6,15	7 070	4,30	682
151	2,17	5,24	12 850	3,80	520
158	2,59	4,78	7 190	3,77	521
150	2,96	6,15	10 150	3,91	586
157	2,03	6,43	11 200	3,68	455
149	1,70	7,54	18 300	3,72	524
156	1,79	6,67	9 680	3,64	489

Tab. 36: Fraktionierung (Profil Xaltocan)

Nr. der Probe	Fe _o ppm	Fe _d ‰	Al _d ppm	Al _{OH} ‰	Si _{H2O} ‰	Si _{OH} ‰	Mn _d ppm
155	823	2,90	620	3,16	0,23	10,5	187
162	879	3,05	620	3,35	0,27	10,4	274
154	872	4,09	620	4,09	0,37	14,9	538
161	934	4,09	600	4,06	0,42	11,4	562
153	700	3,50	1000	9,28	0,93	17,5	600
160	829	3,59	830	8,32	0,96	15,9	599
152	596	2,52	950	8,22	1,13	20,4	573
159	688	2,52	770	7,74	0,98	19,9	646
151	304	1,83	570	4,43	1,07	23,6	318
158	369	1,87	440	4,72	1,11	24,7	320
150	391	2,33	610	4,33	1,27	26,5	596
157	449	2,17	480	4,30	1,33	27,9	358
149	309	2,29	490	4,25	1,25	24,4	448
156	510	2,33	460	4,14	1,27	27,6	463

Tab. 37: pH-Werte, C-Gehalte (Profil Xaltocan)

Nr. der Probe	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	‰ C
155/162	6,7/6,5	5,4/5,4	8,14/8,60
154/161	6,9/ -	5,5/5,5	7,46/7,17
153/160	6,7/ -	5,6/5,6	5,58/5,63
152/159	6,9/7,0	5,7/5,7	2,16/2,34
151/158	6,9/6,7	5,6/5,7	0,96/0,95
150/157	6,5/6,6	5,5/5,5	1,19/1,18
149/156	6,4/6,6	5,4/5,4	0,98/0,99

Profil Metepec

Tab. 38: Korngrößenverteilung, 1. und 2. Probenreihe
(Profil Metepec)

Nr. der Probe	>2 mm %	gS %	mS %	fS %	gU %	mU %	fU %	T %
27	-	3,0	25,0	34,3	21,5	4,7	1,8	9,7
28	-	2,9	33,8	34,3	12,2	2,6	0,9	13,3
29	-	1,2	11,5	19,6	18,1	11,9	9,1	28,6
30	-	1,3	11,8	22,2	18,9	11,4	8,8	25,6
31	-	1,1	14,5	25,2	20,9	13,2	7,8	17,3
32	-	1,5	15,5	27,2	24,0	12,7	6,6	12,5
133	0,2	2,2	25,2	39,3	13,7	6,1	2,8	10,7
132	-	3,1	26,3	29,0	14,7	8,2	2,8	15,9
131	0,1	1,1	11,4	18,7	15,3	15,3	9,2	29,0
130	-	0,8	12,0	21,0	16,7	14,4	8,3	26,8
129	0,1	1,3	14,7	25,3	16,8	13,8	7,4	20,7
128	-	1,3	16,3	24,5	22,5	16,6	6,2	12,6
127	0,1	1,1	12,9	20,7	25,1	19,3	9,2	11,7
126	-	0,7	15,1	22,5	25,4	17,2	8,5	10,6
125	-	1,0	15,7	23,7	25,2	16,8	7,7	9,9
124	-	1,2	20,0	27,6	23,0	15,0	6,1	7,1
123	-	1,1	20,4	30,3	23,4	13,3	5,4	6,1

Tab. 39: Fe- und Mn-Fraktionierung, Ti-Gehalte, 1. Probenreihe
(Profil Metepec)

Nr. der Probe	Fe _o ppm	Fe _d ‰	Fe _t %	Mn _o ppm	Mn _d ppm	Mn _t ppm	Ti _t %
27	455	3,30	3,58	134	203	672	0,72
28	521	3,90	4,03	156	217	733	0,66
29	1018	7,40	4,47	286	371	649	0,71
30	743	6,60	3,91	286	375	657	0,71
31	486	6,30	3,89	233	326	665	0,49
32	312	5,75	3,72	240	355	644	0,49

Tab. 40: Gesamtgehalte, 2. Probenserie (Profil Metepec)

Nr. der Probe	Si % ^t	Al % ^t	Fe % ^t	Ca % ^t	Mg % ^t	Na % ^t	K % ^t	Ti % ^t	Mn % ^t
133	25,3	11,5	3,64	3,58	2,31	2,08	0,60	0,66	738
132	25,6	11,6	3,61	3,46	2,14	2,03	0,57	0,67	713
131	24,7	12,6	4,68	2,47	1,47	1,48	0,51	0,74	730
130	25,7	12,3	4,41	2,51	1,54	1,58	0,59	0,74	690
129	27,0	11,6	3,94	2,60	1,66	1,70	0,65	0,69	687
128	27,2	11,0	3,87	2,52	1,69	1,66	0,65	0,68	752
127	26,5	12,0	4,26	2,57	1,38	1,60	0,42	0,75	792
126	27,0	12,2	4,23	2,59	1,32	1,66	0,45	0,76	818
125	26,7	12,5	4,29	2,68	1,38	1,72	0,50	0,74	742
124	26,6	12,3	4,28	2,82	1,62	1,79	0,57	0,70	744
123	27,0	11,9	4,14	2,94	1,82	1,81	0,63	0,70	732

Tab. 41: Fraktionierung, 2. Probenserie (Profil Metepec)

Nr. der Probe	Fe _o ppm	Fe _d ‰	Al _d ppm	Al _{OH} ‰	Si _{H2O} ‰	Si _{OH} ‰	Mn _d ppm
133	279	3,40	550	3,40	0,48	10,7	217
132	376	4,09	680	4,78	0,67	12,8	248
131	493	7,00	970	9,91	1,17	20,6	440
130	421	6,73	780	8,98	1,23	21,2	397
129	340	5,81	560	6,31	1,15	22,5	353
128	253	6,27	470	5,78	1,02	23,5	390
127	253	8,45	510	6,79	0,97	19,5	509
126	233	9,03	500	8,30	0,98	19,8	530
125	197	6,54	430	8,01	1,00	19,3	438
124	263	6,31	530	6,29	0,92	19,1	422
123	309	6,72	700	5,76	0,92	20,1	379

Tab. 42: pH-Werte, C-Gehalte, 2. Probenserie (Profil Metepec)

Nr. der Probe	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	°oo C
133	6,4	5,1	3,20
132	6,2	5,0	2,83
131	5,9	4,7	2,10
130	6,5	4,7	1,50
129	6,3	4,6	1,07
128	6,3	4,6	0,88
127	6,4	4,7	1,78
126	6,3	4,7	2,09
125	6,1	4,7	1,26
124	6,0	4,7	0,85
123	5,7	4,7	1,15

Profil San Jerónimo, Schichten 1 und 0

Tab. 43: Korngrößenverteilung, 1. und 2. Probenserie (Schichten 1 und 0)

Nr. der Probe	>2 mm %	gS %	mS %	fS %	gU %	mU %	fU %	T %
38	-	1,7	9,1	18,9	15,4	13,0	13,2	28,7
39	-	1,6	9,5	17,3	14,7	13,3	10,6	33,0
40	-	1,1	9,5	18,3	16,3	16,6	11,6	26,6
41	-	2,8	14,4	17,7	13,8	14,2	11,0	26,1
42	-	4,4	14,8	18,8	19,7	13,7	10,8	17,8
43	-	3,8	17,7	22,9	19,9	12,2	10,0	13,5
44	-	5,5	28,3	25,8	14,1	6,9	7,0	12,4
164	-	2,4	9,7	15,8	10,7	11,0	15,3	35,1
163	1,3	2,1	11,5	21,6	14,0	14,5	13,4	22,9
162a	-	2,6	10,3	17,7	10,8	10,4	9,7	38,5
161a	-	1,4	9,7	17,5	17,1	16,2	12,9	25,2
160a	-	2,0	13,0	16,8	12,4	13,6	13,4	28,9
159a	-	11,1	23,8	16,6	9,9	9,1	9,4	20,1
158a	-	5,2	18,2	22,2	14,1	13,4	10,9	16,0
157a	7,0	5,6	28,9	25,8	11,0	7,5	8,5	12,7
156a	-	3,1	16,8	17,4	9,7	10,3	14,2	28,5
155a	-	2,3	10,5	13,7	10,7	14,2	19,8	28,8

Tab. 44: Fe- und Mn-Fraktionierung, Ti-Gehalte, 1. Proben-
serie (Schichten 1 und 0)

Nr. der Probe	Fe _o ppm	Fe _d ‰	Fe _t %	Mn _o ppm	Mn _d ppm	Mn _t ppm	Ti _t %
38	520	2,75	3,96	465	483	723	0,67
39	571	6,95	4,57	553	583	693	0,66
40	528	9,55	4,35	352	504	727	0,61
41	526	8,40	3,70	294	447	669	0,56
42	447	5,40	3,09	280	349	565	0,50
43	339	3,70	2,99	228	282	559	0,53
44	151	2,10	3,12	175	248	488	0,62

Tab. 45: Gesamtgehalte, 2. Probenserie (Schichten 1 und 0)

Nr. der Probe	Si _t ‰	Al _t ‰	Fe _t ‰	Ca _t ‰	Mg _t ‰	Na _t ‰	K _t ‰	Ti _t ‰	Mn _t ppm
164	27,8	12,0	4,06	2,28	0,83	1,43	0,37	0,65	316
163	27,7	12,0	3,89	2,51	0,94	1,50	0,37	0,67	373
162a	25,2	13,6	4,68	1,92	0,87	1,24	0,37	0,71	1110
161a	25,6	13,5	4,59	1,90	0,90	1,28	0,42	0,69	802
160a	26,5	12,7	4,19	2,16	1,00	1,47	0,41	0,67	821
159a	26,5	12,7	3,48	3,05	1,24	1,88	0,44	0,58	544
158a	27,3	11,4	3,14	2,58	1,20	1,74	0,47	0,64	540
157a	25,6	12,4	3,38	3,15	1,10	2,07	0,41	0,61	1000
156a	27,5	11,5	3,56	2,19	1,06	1,62	0,51	0,63	760
155a	28,3	10,7	3,73	1,85	0,89	1,23	0,46	0,59	470

Tab. 46: Anteile an Konkretionen, Gesamt-Fe- und -Mn-Gehalte
(Schichten 1 und 0)

Nr. der Probe	% Konkr. (Gesamtprobe = 100 %)	Konkretionen		konkr.-freies Material	
		% Fe	ppm Mn	% Fe	ppm Mn
164	2,37	5,38	3 780	4,03	316
162a	4,62	5,58	5 120	4,64	916
157a	8,22	7,78	7 060	2,97	426
156a	3,43	4,21	2 560	3,54	693
155a	0,96	4,82	4 270	3,72	435

Tab. 47: Fraktionierung, 2. Probenserie (Schichten 1 und 0)

Nr. der Probe	Fe _o ppm	Fe _d ‰	Al _d ppm	Al _{OH} ‰	Si _{H2O} ‰	Si _{OH} ‰	Mn _d ppm
164	388	1,94	480	5,41	1,35	21,6	207
163	271	1,98	480	6,92	1,00	20,0	131
162a	633	4,81	560	8,43	2,02	18,5	739
161a	369	9,06	670	12,05	2,43	20,5	537
160a	406	8,64	620	11,79	2,33	20,5	573
159a	283	5,08	420	11,84	1,62	21,7	269
158a	338	3,32	400	10,28	1,33	22,7	223
157a	436	6,20	440	7,85	0,88	14,1	781
156a	296	1,56	400	4,70	1,15	24,9	309
155a	240	1,44	370	4,14	1,23	25,7	242

Tab. 48: pH-Werte, C-Gehalte, 2. Probenserie (Schichten 1 und 0)

Nr. der Probe	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	‰ C
164	6,1	4,6	0,62
163	6,1	4,6	0,47
162a	6,1	4,6	0,47
161a	6,1	4,6	0,95
160a	6,1	4,6	0,96
159a	6,1	4,7	0,52
158a	6,1	4,7	0,68
157a	6,1	4,8	0,47
156a	6,2	4,8	0,56
155a	6,0	4,9	0,65

Profil San Jerónimo, Schichten 2 und 3

Tab. 49: Korngrößenverteilung, 1. und 2. Probenserie
(Schichten 2 und 3)

Nr. der Probe	>2 mm %	gS %	mS %	fS %	gU %	mU %	fU %	T %
45	-	0,8	9,3	19,9	17,8	11,8	11,1	29,3
46	-	0,9	9,9	18,7	17,3	13,3	11,4	28,5
47	-	2,0	12,4	21,2	17,2	14,1	10,7	22,4
48	-	1,8	16,9	26,9	17,5	10,7	8,7	17,5
49	-	3,0	18,7	25,6	16,8	10,1	8,5	17,3
50	-	0,1	9,9	18,8	20,8	16,4	13,0	21,0
51	-	1,0	12,4	17,6	19,1	15,9	12,5	21,5
52	-	1,3	13,0	17,9	18,0	14,8	11,0	24,0
53	-	5,5	17,6	19,1	16,9	12,9	9,2	28,8
54	-	4,0	21,1	21,9	17,0	12,1	9,8	14,1
176	-	0,8	10,0	20,4	14,1	12,4	9,0	33,3
175	-	1,1	9,6	19,8	13,5	12,8	9,0	34,2
174	-	1,0	10,8	18,5	16,3	16,7	10,3	26,4
173	-	1,4	13,2	22,8	16,0	15,4	9,1	22,1
172	-	2,3	17,5	26,4	15,0	11,4	6,9	20,5
171	-	3,4	15,6	21,4	16,0	15,2	8,9	19,5
170	-	1,0	10,5	19,5	21,1	18,9	11,1	17,9
169	-	0,9	10,0	16,8	19,4	18,9	11,1	22,9
168	-	1,5	13,6	17,5	15,7	17,1	10,1	24,6
167	-	4,5	14,6	19,0	18,2	15,8	8,2	19,7
166	-	7,0	26,1	18,8	11,7	12,2	6,6	17,6
165	-	3,7	22,1	24,0	13,8	12,6	8,4	15,4

Tab. 50: Fe- und Mn-Fraktionierung, Ti-Gehalte, 1. Proben-
serie (Schichten 2 und 3)

Nr. der Probe	Fe _o ppm	Fe _d ‰	Fe _t %	Mn _o ppm	Mn _d ppm	Mn _t ppm	Ti _t %
45	721	8,30	4,06	344	464	717	0,62
46	753	10,60	4,23	269	467	680	0,65
47	779	11,90	4,18	77	386	597	0,63
48	786	11,80	3,87	142	430	706	0,70
49	565	10,80	3,55	153	349	602	0,62
50	982	11,95	4,41	393	628	764	0,75
51	898	12,55	4,39	264	572	772	0,76
52	752	9,45	4,47	155	445	704	0,78
53	613	8,10	3,88	125	341	618	0,66
54	268	3,25	3,36	78	143	451	0,66

Tab. 51: Gesamtgehalte, 2. Probenserie (Schichten 2 und 3)

Nr. der Probe	Si _t %	Al _t %	Fe _t %	Ca _t %	Mg _t %	Na _t %	K _t %	Ti _t %	Mn _t ppm
176	25,5	12,7	4,19	2,35	1,11	1,61	0,48	0,72	766
175	26,8	12,3	4,30	2,30	1,10	1,59	0,46	0,71	736
174	26,2	12,8	4,32	2,52	1,13	1,63	0,41	0,72	787
173	25,9	12,8	4,28	2,69	1,09	1,69	0,39	0,77	782
172	26,1	12,8	4,02	2,87	1,27	1,90	0,47	0,64	723
171	26,3	12,6	4,22	2,57	1,18	1,62	0,45	0,61	698
170	25,1	13,1	4,85	2,70	0,95	1,51	0,33	0,70	915
169	25,6	12,8	4,72	2,76	0,97	1,56	0,33	0,69	833
168	25,1	13,0	4,74	2,75	1,16	1,58	0,38	0,71	963
167	26,1	12,4	4,44	2,56	1,18	1,44	0,41	0,64	682
166	27,3	11,3	3,70	2,61	1,43	1,56	0,60	0,62	610
165	27,3	11,3	3,65	3,31	1,53	1,83	0,47	0,70	513

Tab. 52: Anteile an Konkretionen, Gesamt-Fe- und -Mn-Gehalte
(Schichten 2 und 3)

Nr. der Probe	% Konkr. (Gesamtprobe = 100 %)	Konkretionen		konkr.-freies Material	
		% Fe	ppm Mn	% Fe	ppm Mn
165	1,40	5,67	1 480	3,62	495

Tab. 53: Fraktionierung, 2. Probenreihe
(Schichten 2 und 3)

Nr. der Probe	Fe _o ppm	Fe _d ‰	Al _d ppm	Al _{OH} ‰	Si _{H₂O} ‰	Si _{OH} ‰	Mn _d ppm
176	498	7,53	690	7,50	1,42	15,6	490
175	492	8,68	770	7,50	1,53	15,8	497
174	566	10,67	940	8,43	1,27	17,2	519
173	651	10,94	960	9,88	1,25	19,9	539
172	510	10,14	810	8,27	0,92	17,1	439
171	388	9,68	790	7,90	1,15	24,0	439
170	529	10,40	710	9,04	1,02	20,9	660
169	535	10,36	770	8,08	1,12	20,1	603
168	633	9,03	750	10,76	1,30	19,3	655
167	535	7,91	690	8,47	1,10	26,8	396
166	486	6,69	650	8,06	1,10	29,5	301
165	302	2,40	370	4,86	1,01	19,7	159

Tab. 54: pH-Werte, C-Gehalte, 2. Probenreihe
(Schichten 2 und 3)

Nr. der Probe	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	‰ C
176	6,2	4,7	0,61
175	6,2	4,6	0,83
174	6,2	4,6	1,26
173	6,2	4,6	1,47
172	6,1	4,5	0,96
171	6,2	4,4	0,89
170	6,2	4,4	0,74
169	6,1	4,4	0,84
168	6,1	4,5	1,06
167	6,0	4,4	1,02
166	6,0	4,5	1,01
165	6,1	4,6	0,64

Profil San Jerónimo, Schichten 4, P, 5 und 6

Tab. 55: Korngrößenverteilung (Schichten 4, P, 5 und 6)

Nr. der Probe	>2 mm %	gS %	mS %	fS %	gU %	mU %	fU %	T %
204	-	1,4	19,8	30,4	19,3	11,0	8,3	9,8
211	0,4	1,7	21,4	30,8	17,4	10,6	8,4	9,7
203	-	1,2	10,8	16,9	12,3	10,2	8,4	40,2
210	-	1,0	10,6	17,4	11,8	10,8	8,5	39,9
202	-	1,1	12,5	18,3	16,3	13,5	8,6	29,7
209	-	0,9	12,8	18,6	15,2	13,1	7,9	31,5
201	-	1,1	14,0	18,0	16,8	13,3	9,0	27,8
208	-	1,6	14,7	18,3	16,1	12,6	8,8	27,9
200	-	1,3	15,2	18,7	15,6	12,1	9,9	27,2
207	-	1,7	16,1	18,6	16,0	12,1	8,7	26,8
199	-	1,7	17,5	19,8	13,6	11,7	8,2	27,5
206	-	1,9	18,2	20,4	15,0	12,4	9,3	22,8
198	-	1,9	17,7	21,5	14,4	11,7	8,8	24,0
205	-	2,3	24,7	27,4	15,3	10,5	6,1	13,7
190	-	2,3	26,1	30,7	15,4	10,6	4,3	10,6
197	-	3,6	26,6	29,4	15,2	9,6	4,4	11,2
189	-	2,8	28,9	30,1	10,3	8,5	3,5	15,9
196	-	2,6	28,7	30,8	11,8	7,6	3,3	15,2
188	-	1,5	14,0	13,7	12,3	16,4	10,8	31,3
195	-	1,2	14,5	14,1	14,0	14,3	12,2	29,7
187	-	1,8	13,7	13,4	14,9	16,6	12,0	27,6
194	-	1,4	15,7	14,0	16,5	17,4	11,1	23,9
186	-	1,8	14,0	14,0	16,6	19,0	10,5	24,1
193	-	1,7	14,9	14,7	16,6	18,9	10,1	23,1
185	-	2,3	17,0	16,0	15,9	18,2	10,6	20,0
192	-	1,6	17,9	16,6	16,1	17,3	10,1	20,4
184	-	2,2	19,7	18,3	15,2	16,2	10,8	17,6
191	-	1,7	19,5	17,1	14,3	15,4	10,2	21,8
183	-	2,6	25,3	21,1	19,5	14,7	8,5	8,3
182	-	4,4	25,9	19,0	15,8	13,5	8,4	13,0
181	0,2	8,3	36,8	16,4	11,5	8,7	6,4	11,9
180	5,7	18,3	35,6	15,9	16,8	5,2	3,5	14,7
179	-	4,0	25,5	26,2	20,0	11,9	6,3	6,1
178	-	3,0	21,1	23,0	18,9	14,9	9,1	10,0
177	-	2,1	20,3	23,5	18,4	14,3	9,6	11,8

Tab. 56: Gesamtgehalte (Schichten 4, P, 5 und 6)

Nr. der Probe	Si %t	Al %t	Fe %t	Ca %t	Mg %t	Na %t	K %t	Ti %t	Mn ppm
204	24,3	11,4	4,42	3,18	1,98	1,96	0,54	0,87	807
211	26,4	11,3	4,42	3,27	1,93	2,02	0,51	0,84	850
203	25,8	13,4	4,49	2,21	1,05	1,55	0,42	0,76	788
210	26,1	13,3	4,54	2,21	1,08	1,58	0,40	0,77	767
202	25,0	14,0	4,73	2,13	1,03	1,48	0,42	0,76	926
209	25,6	13,6	4,62	2,22	1,09	1,58	0,40	0,76	835
201	26,1	13,8	4,74	2,36	1,02	1,56	0,42	0,85	932
208	26,7	13,3	4,68	2,39	1,05	1,69	0,38	0,79	889
200	26,1	14,7	4,52	2,31	0,99	1,56	0,41	0,71	738
207	26,0	14,4	4,45	2,27	1,02	1,65	0,40	0,68	770
199	25,2	14,8	4,30	2,30	1,09	1,59	0,49	0,63	764
206	27,1	13,7	3,92	2,11	1,17	1,67	0,56	0,57	649
198	25,9	13,8	4,07	1,98	1,21	1,43	0,63	0,59	618
205	28,5	12,3	3,46	2,10	1,52	1,77	0,89	0,48	602
190	28,9	12,0	3,15	2,09	1,63	1,73	1,01	0,57	586
197	28,8	12,0	3,22	2,01	1,57	1,62	0,95	0,48	527
189	29,3	11,6	3,18	1,97	1,61	1,68	1,09	0,56	552
196	29,3	11,6	3,02	2,00	1,80	1,77	1,11	0,44	503
188	25,6	12,8	5,17	2,27	1,15	1,22	0,32	0,88	1050
195	28,2	12,8	5,10	2,28	1,20	1,22	0,33	0,82	905
187	24,2	13,7	5,38	2,25	1,03	1,21	0,32	0,87	1028
194	27,0	13,8	5,27	2,24	1,13	1,21	0,33	0,86	1003
186	24,7	13,8	5,45	2,35	1,24	1,17	0,30	0,70	940
193	26,4	13,3	5,24	2,42	1,27	1,17	0,31	0,83	788
185	24,1	12,8	5,26	2,75	1,62	1,25	0,29	0,68	929
192	26,8	13,0	5,16	2,79	1,70	1,24	0,27	0,79	1023
184	24,4	12,9	4,90	2,96	1,80	1,23	0,26	0,66	876
191	25,3	12,8	5,09	3,01	1,87	1,23	0,26	0,80	950
183	23,7	12,6	4,77	3,08	1,67	1,31	0,29	0,65	843
182	23,5	13,3	4,70	3,18	1,39	1,62	0,28	0,66	773
181	24,4	13,0	3,88	3,45	1,67	1,89	0,36	0,59	716
180	25,2	13,0	3,56	3,35	1,66	1,96	0,51	0,52	558
179	26,2	11,8	4,37	3,42	1,82	1,84	0,45	0,64	826
178	25,8	11,3	4,27	3,28	1,76	1,88	0,48	0,62	775
177	25,8	12,0	4,15	3,21	1,75	1,80	0,48	0,65	776

Tab. 57: Fraktionierung (Schichten 4, P, 5 und 6)

Nr. der Probe	Fe _o ppm	Fe _d ‰	Al _d ppm	Al _{OH} ‰	Si _{H₂O} ‰	Si _{OH} ‰	Mn _d ppm
204	1161	6,84	1110	5,64	0,22	10,6	322
211	1124	7,16	1060	5,35	0,22	9,4	332
203	897	9,79	1160	11,02	1,15	16,6	523
210	1044	10,14	1300	10,88	0,98	15,3	497
202	879	11,12	1130	13,03	1,66	17,7	664
209	768	11,22	1130	12,71	1,50	17,5	598
201	608	11,71	1040	12,56	1,85	17,3	661
208	707	11,19	970	12,68	1,58	17,2	603
200	412	7,79	950	13,00	2,45	18,0	474
207	418	7,79	930	13,98	1,85	18,7	520
199	326	7,16	790	13,66	1,80	19,5	461
206	283	6,49	860	13,13	1,63	20,7	396
198	308	7,58	790	11,88	1,46	22,2	383
205	203	5,99	670	10,02	1,10	23,1	318
190	265	4,70	530	7,11	0,85	21,1	260
197	179	2,81	560	7,24	1,00	24,2	216
189	265	5,40	580	7,82	1,32	24,7	228
196	203	3,05	600	7,26	1,07	22,8	185
188	713	14,87	970	7,26	1,18	20,4	726
195	553	15,05	900	7,70	1,18	20,4	634
187	713	14,94	860	7,93	1,33	19,5	696
194	572	15,01	860	8,09	1,25	19,6	727
186	639	15,32	860	8,97	1,18	21,8	690
193	602	15,01	830	8,56	1,26	23,1	502
185	651	15,57	900	9,90	0,87	22,8	568
192	799	16,79	900	10,17	1,02	24,0	597
184	584	16,90	1020	12,60	1,15	26,2	519
191	823	17,43	1090	12,37	1,10	24,8	534
183	799	15,36	1130	9,25	1,13	25,3	505
182	608	13,64	790	12,63	1,32	26,0	449
181	381	7,47	630	9,83	1,23	24,7	285
180	295	3,96	710	6,68	1,03	21,2	134
179	375	8,66	650	6,18	0,80	18,4	404
178	424	10,16	750	8,38	0,82	20,2	414
177	406	10,04	790	11,00	1,00	22,4	379

Tab. 58: pH-Werte, C-Gehalte (Schichten 4, P, 5 und 6)

Nr. der Probe	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	‰ C
204/211	6,5/6,3	5,1/5,0	14,10/12,00
203/210	6,7/6,3	5,1/4,9	4,36/5,32
202/209	6,8/6,3	5,6/5,2	2,88/2,65
201/208	6,6/6,8	5,6/5,6	2,60/2,58
200/207	6,6/6,6	5,3/5,4	1,50/1,46
199/206	6,6/6,6	5,0/5,2	1,43/1,22
198/205	6,5/6,5	4,9/5,1	1,21/0,81
190/197	6,7/6,7	5,2/5,2	0,97/0,96
189/196	6,6/6,6	5,1/5,1	1,02/0,87
188/195	6,5/6,6	5,1/5,1	4,19/3,56
187/194	6,5/6,6	5,0/5,0	2,38/1,84
186/193	6,5/6,6	4,9/4,9	1,85/1,69
185/192	6,5/6,7	4,8/4,8	1,78/1,61
184/191	6,5/6,7	4,7/4,7	1,76/1,90
183	6,2	5,2	1,65
182	6,8	5,1	1,17
181	5,8	5,0	0,78
180	6,0	5,1	1,10
179	6,2	5,1	0,85
178	6,1	4,8	0,91
177	6,3	4,7	1,19

Profil San Jerónimo, Schichten 5, 6a und 6b

Tab. 59: Fe- und Mn-Fraktionierung, 1. Probenserie
Ti-Gehalte (Schicht 6b)

Nr. der Probe	Fe _o ppm	Fe _d ‰	Fe _t %	Mn _o ppm	Mn _d ppm	Mn _t ppm	Ti _t %
67	2125	5,00	3,77	171	217	639	0,73
68	1232	5,10	3,88	264	331	716	0,79
69	992	6,25	4,57	271	363	731	0,88
70	757	8,95	4,05	194	406	741	0,66
71	691	8,85	3,91	68	363	712	0,70
72	613	8,75	3,48	170	422	713	0,65

Tab. 60: Korngrößenverteilung, 1. und 2. Probenserie
(Schichten 5, 6a und 6b)

Nr. der Probe	>2 mm %	gS %	mS %	fS %	gU %	mU %	fU %	T %
67	-	3,3	27,4	27,8	18,8	5,7	5,4	11,6
68	-	4,1	22,9	28,4	17,5	6,5	5,7	14,9
69	-	1,1	10,0	22,7	17,4	8,7	6,9	33,2
70	-	1,4	13,7	17,4	15,4	10,9	10,3	30,9
71	-	1,9	20,0	18,0	15,7	9,3	8,6	26,5
72	-	2,3	15,2	19,9	14,6	13,4	7,4	27,2
244	0,1	3,5	25,5	29,7	17,8	8,1	6,3	9,1
243	0,1	3,8	25,9	28,7	15,8	7,3	6,2	12,3
242	0,2	4,0	19,7	26,7	16,0	7,2	6,6	19,8
241	0,6	1,1	9,7	21,8	17,5	9,0	6,3	34,6
240	-	1,5	15,6	19,6	14,9	11,0	9,0	28,5
239	0,1	2,1	17,2	18,2	15,3	12,1	9,1	26,0
238	-	1,7	20,4	19,0	14,0	8,9	7,6	28,4
237	-	2,2	21,9	18,8	14,2	7,3	7,2	28,4
236	-	1,8	16,8	20,4	16,2	12,0	10,2	22,6
235	-	2,2	17,2	21,1	18,3	9,8	8,7	22,7
234	-	1,9	18,9	22,0	16,6	9,5	8,9	22,2
227	-	2,3	18,5	22,2	13,7	10,6	8,0	24,7
232	-	2,7	17,9	22,6	14,3	12,4	8,1	22,0
226	-	2,1	17,6	21,0	17,0	13,6	9,9	18,8
231	-	1,7	17,0	22,0	15,2	12,4	8,7	23,0
225	-	2,0	19,3	24,0	14,9	13,4	8,0	18,4
230	-	2,0	19,1	21,9	15,4	13,6	8,7	19,3
224	-	2,3	20,7	24,6	13,7	10,8	7,0	21,0
229	-	2,6	20,1	24,0	14,6	12,1	8,0	18,6
217	-	2,0	25,4	29,5	10,8	9,1	5,5	17,7
223	-	2,8	28,4	27,2	8,9	8,9	5,7	18,1
216	-	2,9	27,8	28,8	11,3	8,8	4,7	15,7
222	0,1	3,4	28,2	28,6	10,9	8,0	4,4	16,5
215	-	4,8	30,3	25,3	9,7	7,2	4,7	18,0
221	-	3,6	28,0	27,2	10,1	7,5	3,5	20,1
214	-	1,8	17,6	16,5	12,5	15,3	11,5	24,8
220	-	1,4	17,5	16,5	11,7	15,3	12,4	25,2
213	-	1,8	15,3	14,6	16,0	18,8	12,5	21,0
219	-	2,1	17,8	16,0	16,2	17,5	10,7	19,7
212	-	4,6	14,6	13,9	14,4	18,8	10,9	22,8
218	-	1,4	11,8	14,4	20,4	19,1	12,0	20,9

Tab. 61: Gesamtgehalte, 2. Probenserie (Schichten 5, 6a und 6b)

Nr. der Probe	Si % ^t	Al % ^t	Fe % ^t	Ca % ^t	Mg % ^t	Na % ^t	K % ^t	Ti % ^t	Mn % ^t ppm
244	24,5	11,6	4,11	3,62	2,08	2,00	0,52	0,69	744
243	25,7	11,6	4,00	3,66	1,98	1,95	0,48	0,68	696
242	25,5	12,0	4,08	3,28	1,65	1,92	0,47	0,71	1143
241	25,2	12,4	5,31	2,67	1,49	1,56	0,40	0,94	800
240	26,9	12,4	4,08	2,59	1,29	1,70	0,42	0,62	817
239	26,3	12,0	4,15	2,76	1,32	1,69	0,40	0,62	822
238	25,4	13,0	4,14	2,94	1,35	1,73	0,36	0,71	785
237	24,9	13,3	4,27	3,05	1,35	1,73	0,33	0,71	793
236	26,2	12,1	3,82	2,65	1,25	1,73	0,44	0,68	783
235	26,3	12,3	3,72	2,67	1,31	1,81	0,49	0,63	783
234	25,6	12,8	3,91	2,63	1,26	1,78	0,51	0,61	787
227	27,5	12,9	3,89	2,88	1,35	1,91	0,55	0,58	844
232	25,0	12,1	3,50	2,74	1,26	1,85	0,48	0,61	759
226	26,6	13,3	3,96	2,81	1,30	1,82	0,53	0,54	763
231	26,8	13,2	3,94	2,55	1,22	1,74	0,49	0,60	759
225	26,7	12,6	3,83	2,65	1,36	1,77	0,63	0,52	717
230	26,2	13,0	3,91	2,81	1,34	1,91	0,59	0,57	818
224	26,9	12,7	3,56	2,71	1,43	1,89	0,67	0,52	668
229	27,3	12,7	3,67	2,73	1,42	1,87	0,72	0,52	688
217	29,5	11,5	3,18	2,19	1,67	1,78	1,00	0,48	603
223	28,0	11,8	3,47	2,27	1,65	1,71	0,88	0,46	627
216	30,1	11,6	3,27	2,23	1,77	1,93	0,99	0,49	584
222	26,9	11,5	3,24	2,45	1,68	1,82	0,83	0,46	605
215	27,7	11,7	3,41	2,40	1,62	1,83	0,79	0,51	613
221	28,9	11,8	3,43	2,36	1,59	1,78	0,80	0,51	587
214	26,5	12,6	4,70	2,51	1,18	1,65	0,38	0,68	964
220	28,6	14,7	4,78	3,01	1,22	1,54	0,34	0,77	993
213	26,1	13,4	5,27	2,52	1,17	1,55	0,35	0,71	952
219	27,3	11,3	4,85	2,21	1,18	1,48	0,36	0,58	930
212	25,7	12,5	5,00	2,21	1,06	1,33	0,32	0,68	915
218	26,9	12,6	5,13	2,27	1,07	1,19	0,28	0,67	974

Tab. 62: Fraktionierung, 2. Probenreihe (Schichten 5, 6a und 6b)

Nr. der Probe	Fe _o ppm	Fe _d ‰	Al _d ppm	Al _{OH} ‰	Si _{H₂O} ‰	Si _{OH} ‰	Mn _d ppm
244	1271	5,17	900	4,38	0,22	9,9	241
243	713	5,39	650	4,38	0,38	13,3	230
242	1056	5,61	680	4,30	0,67	15,2	609
241	572	5,96	740	6,31	1,00	18,2	370
240	486	9,42	740	9,48	1,13	17,6	512
239	541	9,10	720	9,39	1,05	17,0	514
238	510	9,78	910	11,78	1,20	17,0	453
237	516	8,92	850	13,91	1,13	19,7	436
236	480	9,31	780	8,90	0,95	18,6	517
235	363	7,96	720	9,02	0,72	18,2	488
234	388	7,32	700	9,24	0,92	16,8	479
227	437	7,60	680	9,34	0,85	16,6	491
232	455	7,85	610	8,65	0,74	16,4	494
226	418	6,14	660	8,90	1,00	16,2	466
231	400	7,25	570	9,58	0,97	16,7	514
225	381	5,54	740	7,95	0,91	17,4	435
230	406	6,32	550	8,43	0,84	14,9	466
224	326	5,39	720	8,34	0,83	20,0	366
229	326	5,36	530	8,09	0,83	17,7	387
217	314	5,93	700	8,24	0,88	22,6	309
223	271	6,03	690	8,38	0,85	23,8	318
216	271	5,96	650	7,87	0,84	23,0	265
222	265	5,43	630	7,60	0,83	21,9	276
215	265	5,46	580	6,92	0,95	25,3	244
221	265	5,39	580	7,04	0,93	24,5	272
214	559	12,53	900	7,65	0,92	18,9	639
220	608	12,71	810	6,77	1,02	18,8	708
213	608	14,20	880	8,68	1,00	18,9	670
219	486	12,88	860	9,05	0,98	19,5	669
212	578	13,67	680	8,09	1,10	24,0	604
218	664	14,28	930	8,09	1,03	21,0	728

Tab. 63: pH-Werte, C-Gehalte, 2. Probenreihe, (Schichten 5, 6a und 6b)

Nr. der Probe	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	°oo C
244	6,3	5,3	14,20
243	6,6	5,2	3,78
242	6,6	5,2	2,05
241	6,4	5,4	2,08
240	6,7	5,4	2,29
239	6,6	5,3	2,08
238	6,7	5,3	2,90
237	6,6	5,3	2,31
236	6,6	5,2	2,55
235	6,6	5,2	2,35
234	6,6	5,2	1,75
227/232	6,2/6,0	5,1/5,2	2,18/2,16
226/231	6,3/6,3	5,0/5,1	1,11/1,48
225/230	6,3/6,2	4,9/5,1	0,99/1,07
224/229	6,2/6,3	4,9/5,1	0,98/0,78
217/223	6,2/6,2	4,8/4,8	1,53/1,51
216/222	6,0/6,1	4,8/4,9	1,31/1,24
215/221	6,0/6,3	4,8/4,9	1,33/1,62
214/220	6,1/6,2	4,8/4,9	1,86/2,07
213/219	6,3/6,3	4,7/4,8	1,25/1,52
212/218	6,3/6,1	4,8/4,9	1,33/1,63

Dem Direktor des Instituts für Bodenkunde und Bodenerhaltung der Justus Liebig-Universität Giessen, Herrn Prof. Dr. E. Schönhals, möchte ich an erster Stelle danken. Er bot mir die grossartige Möglichkeit, im Rahmen unserer Tätigkeit im Mexiko-Projekt der Deutschen Forschungsgemeinschaft die vorliegende Arbeit, die er persönlich betreute, zu schreiben. Dabei war sein verständnisvolles Eingehen auf die Eigenheiten eines manchmal etwas starrköpfigen Schülers ganz besonders bewundernswert. Ich bin überzeugt, dass gerade die grosse Freiheit, die er mir bei der Durchführung liess, die Arbeit entscheidend gefördert hat.

Besonderen Dank schulde ich Herrn Dr. G. Miehlich, Reinbek. Zahlreiche Diskussionen, die wir in Mexiko und in Deutschland führten, gaben mir wertvolle Anregungen und halfen mir bei manchen Problemen weiter.

Zusätzliche Anregungen erhielt ich in Gesprächen mit Herrn Prof. A. Flores und Herrn Dr. H. Guanato, beide Chapingo, Mexiko, mit Herrn Dr. K. Heine, Bonn, Herrn W. Kneib, Reinbek, Herrn Prof. Dr. W. Lauer, Bonn, Herrn Dr. E. Seele, Erlangen, Herrn Prof. Dr. F. Tichy, Erlangen, Herrn Prof. Dr. R. Weyl, Giessen und Herrn Prof. Dr. H. W. Zöttl, Freiburg. Allen möchte ich dafür meinen besten Dank aussprechen.

Ohne die Hilfe von Herrn M. Reinartz, Puebla, Mexiko, der mich bei den Feldarbeiten begleitete, hätte ich die vorliegende Arbeit nicht durchführen können. Auch ihm möchte ich an dieser Stelle nochmals ganz herzlich danken.

Ich danke ganz besonders Herrn Dr. H.-J. Altemüller, Braunschweig, der mir in grosszügigster Weise bei der Herstellung und Auswertung der Dünnschliffe geholfen hat.

Dank schulde ich auch Frau Dr. Helga Heide-Weise, Schwalbach a.T., die mir bei mineralogischen Fragestellungen weiter half.

Herrn Dr. H. W. Fassbender, Göttingen, danke ich für einige Methodenanleitungen, Herrn Dr. E. Stiehl, Bonn, für seine Auskünfte über die klimatischen Bedingungen im Arbeitsgebiet.

Herr Prof. Dr. H.-U. Preusse, Giessen, stand für alle im Zusammenhang mit der Durchführung der chemischen Analysen auftauchenden Fragen zur Verfügung, Herr Dr. H. Tributh, Giessen, half bei der Tonmineralbestimmung. Beiden möchte ich meinen Dank aussprechen.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft danke ich für die Bereitstellung von Mitteln im Rahmen des Mexiko-Projektes.

Lebenslauf

Ich wurde am 25. Nov. 1943 in Männedorf, Schweiz, als Bürger von Zürich geboren. Meine Eltern sind Hans Aepli und Louise Aepli, geb. Tanner.

Ich besuchte 5 Jahre die Primar-, 2 Jahre die Sekundar- und 5½ Jahre die Kantonsschule, die ich in Schaffhausen im Herbst 1962 mit der Matura Typ C (Naturwissenschaftliche Richtung) abschloss.

Anschliessend immatrikulierte ich mich an der Medizinischen Fakultät der Universität Zürich, holte im Frühjahr 1964 die Eidgenössische Zusatzmatur in Latein nach, legte meinen Militärdienst ab und bestand im Frühjahr 1966 die Naturwissenschaftliche Prüfung für Aerzte, Zahnärzte und Tierärzte.

Im Sommer und Herbst 1966 absolvierte ich ein landwirtschaftliches Praktikum und immatrikulierte mich im Frühjahr 1967 an der Landwirtschaftlichen Fakultät der Justus Liebig-Universität Giessen. Das Studium schloss ich im Frühjahr 1970 mit dem Diplom (Fachrichtung Pflanzenproduktion) ab.

Seit dieser Zeit bin ich als Wissenschaftlicher Mitarbeiter des Direktors des Institutes für Bodenkunde und Bodenerhaltung, Herrn Prof. Dr. E. Schönhals, mit bodenkundlichen Kartierarbeiten im Mexiko-Projekt der Deutschen Forschungsgemeinschaft beschäftigt. Zwei halbjährige Aufenthalte in Mexiko im den Wintern 1970/71 und 1971/72 standen zur Verfügung. Im Rahmen der Kartierung wurde auch die vorliegende Arbeit angefertigt.

FOTO-DRUCK LENZ · 63 Gießen · Riegelpfad 32/Ecke Ludwigstraße
Telefon 0641 - 77449